



UNIVERSIDADE DO VALE DO TAQUARI
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE PLACAS
CIMENTÍCIAS PRODUZIDAS COM BASE NO SISTEMA GRC COM
A INCORPORAÇÃO DE DIFERENTES TIPOS DE FIBRAS**

Douglas Silberschlag

Lajeado, junho de 2020.

Douglas Silberschlag

**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE PLACAS
CIMENTÍCIAS PRODUZIDAS COM BASE NO SISTEMA GRC COM A
INCORPORAÇÃO DE DIFERENTES TIPOS DE FIBRAS**

Projeto de Monografia apresentado na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do curso de Engenharia Civil, da Universidade do Vale do Taquari - Univates, como parte da exigência para a obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador(a): Me. Rafael Mascolo.

Lajeado, junho de 2020.

ANÁLISE DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE PLACAS CIMENTÍCIAS PRODUZIDAS COM BASE NO SISTEMA GRC COM A INCORPORAÇÃO DE DIFERENTES TIPOS DE FIBRAS

A Banca examinadora abaixo aprova a Monografia apresenta na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, na linha de formação específica em Engenharia Civil, da Universidade do Vale do Taquari - Univates, como parte da exigência para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil:

Prof. Me. Rafael Mascolo - Orientador

Universidade do Vale do Taquari - Univates

Dr. Marlon Longhi

Prof. Dr. Rodrigo Spinelli

Universidade do Vale do Taquari - Univates

Lajeado, junho de 2020.

RESUMO

A presença do sistema construtivo de painéis de GRC (*Glassfibre Reinforced Concrete*) no setor da construção civil tem vantagens para a pré-fabricação das fachadas, uma vez que contribui com a leveza, apresenta altos níveis de desempenho e diversos tipos de acabamentos. O GRC é composto por cimento, e areia, reforçado com a fibra de vidro do tipo AR. As fibras garantem uma melhora nas propriedades mecânicas do compósito, se tratando da resistência à tração e à flexão, e garantem uma menor espessura da peça fabricada e, conseqüentemente, pesos inferiores ao do concreto armado. No intuito de buscar novas alternativas do GRC, definiu-se a elaboração de um estudo com a utilização de diferentes tipos de fibras e diferentes teores. As placas foram produzidas no processo de fabricação premix, com a utilização dos seguintes tipos de fibras: aço, polipropileno e vidro, bem como os teores de fibra em 0,5%, 1,0% e 1,5%, onde as placas foram testadas pelo ensaio de flexão e absorção de água, e os corpos de prova cilíndricos ao teste de compressão axial. Todos os resultados, de ambos os ensaios, apresentaram valores positivos. Os valores encontrados para flexão estão acima do mínimo de 5 MPa recomendado pelo Glassfibre Reinforced Concrete Association. A partir da análise de variância ANOVA verificou-se que a variação do teor de fibras não tem influência nas propriedades mecânicas, considerando os valores utilizados no presente trabalho.

Palavras chaves: GRC; pré-fabricação das fachadas, fibras.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	6
1.1 Objetivos	8
1.1.1 Objetivo geral	8
1.1.2 Objetivos específicos	8
1.2 Justificativa da pesquisa	8
1.3 Estrutura do trabalho	9
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	10
2.1 Fachadas pré-fabricadas e sua industrialização	10
2.2 GRC	12
2.2.1 História do GRC	13
2.2.2 Aplicações do GRC	14
2.2.3 Tipos de painéis do GRC	17
2.2.4 Produção	19
2.2.5 Processos de produção	20
2.2.6 Materiais	22
2.2.7 Propriedades mecânicas	26
2.2.8 Fatores importantes que afetam as propriedades mecânicas do GRC	27
2.2.9 Cura do GRC	31
2.2.10 Armazenamento, transporte e montagem	31
2.2.11 Vantagens e desvantagens do uso de GRC	32
3 MATERIAIS E MÉTODOS	34
3.1 Materiais	38
3.2 Métodos	40
3.2.1 Verificação das propriedades no estado fresco	42
3.2.2 Verificação das propriedades no estado endurecido	43
3.2.2.1 Absorção de água	43
3.2.2.2 Ensaio completo de flexão	44

3.2.2.3 Resistência à compressão axial	45
4 RESULTADOS	46
4.1 Absorção de água	46
4.1.1 Fibra de aço	47
4.1.2 Fibra de polipropileno	49
4.1.3 Fibra de vidro	52
4.2 Ensaio de compressão	56
4.2.1 Fibra de aço	56
4.2.2 Fibra de polipropileno	58
4.2.3 Fibra de vidro	60
4.3 Ensaio de flexão	64
4.3.1 Fibra de aço	64
4.3.2 Fibra de polipropileno	67
4.3.3 Fibra de vidro	69
5 CONCLUSÕES	74
REFERÊNCIAS	76

1 INTRODUÇÃO

O concreto é o material mais utilizado na construção civil. Possui características inferiores à do aço, mas possui uma boa resistência à água. A grande disponibilidade dos materiais no mundo, custo relativamente baixo e a facilidade da execução das estruturas de concreto são as razões para o uso tão elevado do concreto (METHA; MONTEIRO, 2008).

A qualidade final do concreto está sujeita a mudanças no transporte, no lançamento e principalmente no adensamento. A seleção dos materiais a serem utilizados na mistura necessitam de um adequado conhecimento das propriedades e do comportamento dos mesmos, bem como a seleção do cimento a ser utilizado e suas particularidades (NEVILLE; BROOKS, 2013).

Em nível mundial, é denominado de sigla GRC (*Glass Reinforced Cement*) aquele material que é composto pelo cimento Portland e reforço de fibras de vidro. Geralmente, as fibras de vidro são utilizadas com a finalidade de reforçar materiais de concreto, mas o seu principal uso se deve na fabricação de painéis de GRC, os quais possuem uma espessura reduzida, tendo como base a argamassa. Diversas finalidades são usadas com a aplicação de fibras de vidro, como: fabricação de painéis pré-fabricados, tubulações, utilitários urbanos, e fôrmas permanentes (LAMEIRAS, 2007).

A utilização de fachadas pré-fabricadas tem apresentado um crescimento muito grande, pelo sistema apresentar diversas vantagens, como uma rápida

execução em obra somada a fabricação de peças de ótima qualidade. Um bom exemplo quanto ao avanço da tecnologia é a presença de fachadas em peças de GRC, que cada vez mais está se adaptando ao mercado e apresentando seus avanços positivos e extremamente eficazes (DUARTE, 2014).

A colocação dos painéis produzidos em GRC, nos locais em que as solicitações de tensões são elevadas sobre a estrutura do revestimento, é dificultada pela presença de poucas normas técnicas do GRC que determinam: propriedades mecânicas aos painéis de fachada e métodos de controle do produto que garantem uma qualidade final adequada ao que foi projetada na fase de projeto (LOUREIRO, 2014).

Segundo Guimarães (2016), o GRC apresenta um visual muito bonito, de qualidade e é executado rapidamente frente à alvenaria convencional. Isso se explica pelo fato da pré-fabricação ser executada somente em fábrica, onde o projeto pode ser planejado e executado com todo o cuidado necessário para obter produtos de ótima qualidade. Os painéis de GRC, frequentemente, podem possuir materiais isolantes, quanto à térmica e acústica. Na questão da sustentabilidade, o GRC possui diversas vantagens ao compararmos com a vedação convencional, em função da racionalização na produção, evitando ao máximo o desperdício de materiais e a quantidade de resíduos. Além disso, apresenta uma rápida execução no canteiro de obras, fazendo com que as grandes construções se tornem viáveis pelo fato do tempo de execução ser reduzido.

Vicenzi (2015) afirma que devido as reduzidas espessuras dos painéis de GRC, é possível ocorrer o aparecimento de fissuras na superfície da placa em função da alta quantidade de cimento utilizada na produção. Isso acaba limitando as dimensões das peças e, conseqüentemente, demandando um maior número de juntas na fachada da edificação.

Como vimos o sistema GRC apresenta algumas limitações na sua produção. Desse modo, decidiu-se avaliar a possibilidade de melhorias através da inclusão de tipos diferentes de fibras. O método de produção a ser utilizado é o do sistema de

GRC. Além disso, será analisado a aplicação de diferentes tipos e teores de fibras de vidro, de polipropileno e de aço nas propriedades físicas e mecânicas: absorção de água, compressão e flexão.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Analisar a influência de diferentes tipos de fibras em placas pré-fabricadas para revestimento de fachadas, seguindo os parâmetros do sistema GRC, com relação as propriedades mecânicas.

1.1.2 Objetivos específicos

- analisar as propriedades mecânicas das placas pré-fabricadas baseadas no sistema GRC;
- analisar a taxa de absorção de água das placas pré-fabricadas baseadas no sistema GRC;
- analisar a influência dos diferentes teores e tipos de fibras nas propriedades mecânicas das placas pré-fabricadas baseadas no sistema GRC.

1.2 Justificativa da pesquisa

A necessidade do mercado por novas tecnologias contribui para o desenvolvimento de novas soluções para o revestimento de fachadas, buscando o aproveitamento de novos materiais que são desenvolvidos.

Atualmente, a fabricação de painéis apresenta uma grande capacidade em reduzir o custo de obra, com a diminuição do período de execução sendo influenciada por uma instalação rápida. Além disso, esse tipo de sistema garante uma melhor aplicação dos materiais naturais, contribuindo ao máximo para evitar o

desperdício e quantidade de resíduos. Por meio de um processo de fabricação bem controlado, é possível obter um produto excelente, com uma durabilidade maior da fachada, garantindo a vida útil para a edificação em qual foi instalada (GUIMARÃES, 2016).

Faccio (2004) afirma que o GRC vem apresentando uma evolução muito boa, contribuindo de maneira essencial para a sustentabilidade do nosso planeta, como também oferecendo qualidade e desempenho e ótimos métodos de fabricação, instalação e segurança. Como a placa de GRC possui uma espessura bem pequena, de aproximadamente 15 mm, a fabricação reduz perdas com o uso de poucos materiais, colaborando com o meio ambiente.

Tendo em vista todos esses fatores, decidiu-se produzir painéis pré-fabricados em GRC com a finalidade de um bom aproveitamento dos materiais naturais, produzindo placas com maior leveza e evitando os desperdícios.

1.3 Estrutura do trabalho

O presente trabalho está separado em cinco capítulos. O primeiro trata da introdução e dos objetivos propostos. O segundo capítulo baseia-se em um estudo com a realização de pesquisas bibliográficas em artigos, livros, manuais, revistas e teses, com o objetivo de extrair dados e conhecimentos sobre placas pré-fabricadas pelo sistema GRC, fachadas pré-fabricadas e a industrialização da construção.

Em seguida, o terceiro capítulo apresenta a metodologia do trabalho, que consiste em apontar os processos que devem ser realizados com o intuito de caracterizar os materiais e realizar os testes em que as placas de GRC foram submetidas para atingir os objetivos propostos. O quarto capítulo nos mostra os resultados obtidos. O quinto e último capítulo trata das conclusões sobre a pesquisa. Por fim, são descritas as referências utilizadas ao longo do trabalho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Fachadas pré-fabricadas e sua industrialização

Frequentemente é possível verificar que a construção de edificações se encontra segmentada, com as etapas ocorrendo sem nenhum planejamento. É necessária uma interação na industrialização da construção. Nessas etapas, nota-se informações incorretas, conceitos mal-entendidos, perdas de tempo, erros, soluções incompatíveis e demais problemas na industrialização. Após isso, a construção civil se preparou com base nessas críticas e por todas as necessidades conhecidas. Depois de um período de adequações aos processos industriais, a industrialização passou-se como um fato em diversos países (RIBEIRO, 2002).

Com um grande aumento na quantidade de habitações, obras de infraestrutura de grande porte e um avanço na economia, com o objetivo da padronização de produtos, é muito importante o uso da industrialização nessas etapas de fabricação (MOURA; SÁ, 2013).

Segundo Vicenzi (2015), diversos fatores contribuem para o processo de industrialização, como: qualificação da mão de obra, controle tecnológico adequado, equipamentos corretos e um ótimo controle de qualidade. Um fator de extrema importância é a diminuição da presença de resíduos oriundos da construção, colaborando para a sustentabilidade.

Novaes e Mourão (2008) afirmam que 40 a 60% da massa do resíduo sólido urbano presente nas grandes metrópoles são provenientes da construção, reparos e demolições de edificações, mais precisamente edifícios e casas.

O desenvolvimento tecnológico pode estar presente na industrialização da construção, onde a mão de obra apresenta uma boa qualificação e os equipamentos utilizados são adequados. Com isso, é possível a realização de uma maior fiscalização nos processos de produção e de montagem, obtendo resultados com qualidade e durabilidade. Um correto planejamento faz com que a fiscalização industrial propicie uma boa precisão, com as dimensões possuindo milímetros de tolerância (VEFAGO, 2006).

O sistema construtivo de fachadas pré-fabricadas é um dos que entraram nas etapas de industrialização. Oliveira (2009) afirma que a fachada é de grande importância para o edifício, pois representa as condições de habitabilidade e estética da edificação, bem como para a valorização do edifício, possuindo uma parte importante na questão da sustentabilidade. O custo de execução das fachadas pode significar até 20% do valor total da edificação.

Atualmente, no Brasil existem diversas tecnologias de fachadas que abrangem os diversos pedidos dos construtores. Fachadas comuns, de blocos cerâmicos, em concreto, até a presença de fachadas pré-fabricadas que são fabricadas em diversos tipos de painéis, estando presente o painel de GRC (Glassfibre Reinforced Concrete) (OLIVEIRA, 2009).

Os edifícios comerciais, com a utilização das fachadas pré-fabricadas, podem obter um ganho no tempo de execução, antecipando o período de entrega da edificação, o que significa para o investidor um ganho nos prazos e um faturamento inicial mais rápido do que o planejamento anteriormente (VEFAGO, 2006).

2.2 GRC

O sistema GRC, também chamado de argamassa reforçado com fibras de vidro, é um material composto por cimento, areia, água e fibras de vidro, podendo ainda ter o acréscimo dos aditivos. A presença de fibras na mistura é no valor de 2,5 a 5%, contribuindo para o ganho de resistência à tração, flexão e impacto (LOUREIRO, 2014).

A presença de fibras de vidro proporciona ao concreto uma melhora nas propriedades mecânicas da argamassa, tratando-se da resistência à flexão e tração, dificultando o aparecimento de ruptura frágil. Quando solicitados ao esforço de tração, a existência de fibras de vidro AR no concreto contribui em dois fatores, retardamento da existência de fissuras e ampliação da resistência da peça após o fissuramento (PEREIRA, 2013).

No concreto armado, a colocação da armadura é executada com a finalidade de combater os esforços locais que são solicitados à tração, mas na questão da utilização da fibra de vidro, o reforço é disposto aleatoriamente por toda a peça, ao contrário do que ocorre no concreto armado. O reforço aumenta e estabiliza a tensão de fissuração da placa, nas solicitações de tração e flexão (FACCIO, 2004).

Fernandes (2008) afirma que o GRC pode sofrer variações em diversas características, que são influenciadas pelo processo de fabricação, composição do material, tipo de cimento, dosagem, disposição e tamanho das fibras e grau de compactação. Portanto, o GRC é o resultado de diversos tipos de combinações dos materiais, onde as características finais dependem das proporções de materiais que foram utilizados na mistura.

2.2.1 História do GRC

A fibra de vidro teve suas aplicações iniciais no ano de 1930 nos Estados Unidos. A mistura foi executada por uma empresa de polímeros, fato decisivo naquela época para o aparecimento dos polímeros modernos (FERNANDES, 2008).

O GRC surgiu em meados dos anos 70 e, desde aquela época, é utilizado com bastante frequência nos ramos da engenharia civil e arquitetura. No decorrer do tempo, outros tipos de argamassas de cimento reforçado com fibras foram introduzidos no mercado, geralmente chamado por FRC ("Fiber Reinforced Concrete"). A finalidade das fibras é de evitar possíveis ocorrências de fendilhações, e contribuir para um ganho de resistência mecânica das peças (LOUREIRO, 2014).

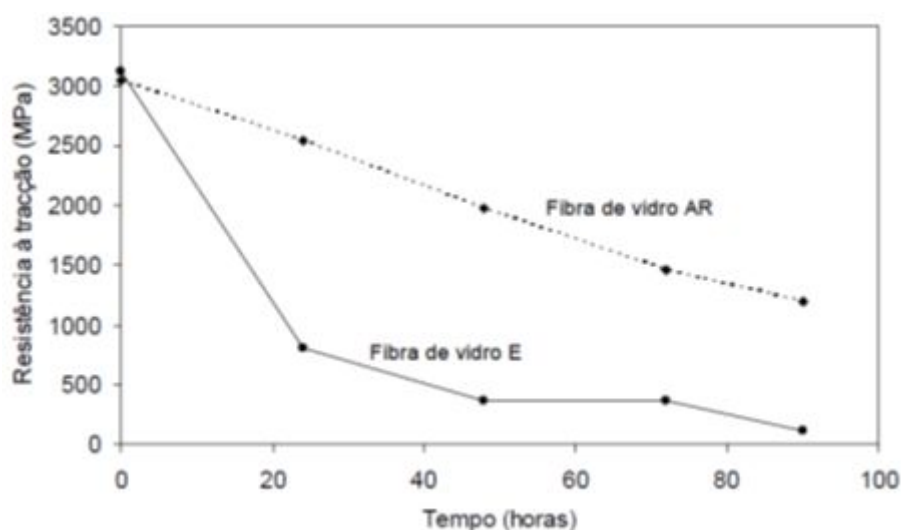
Segundo Fernandes (2008), a primeira análise envolvendo a adição de fibras de vidro ao cimento ocorreu na Rússia, em 1964, por Byryukovich. Os resultados não foram satisfatórios, visto que o material utilizado foi a fibra de vidro tipo "E" (utilizada na indústria de plásticos), que não resistiu aos álcalis, tornando inviável a sua utilização pelo fato de as matrizes possuírem quantidades altas de hidróxidos de cálcio.

O grande avanço no GRC foi na década de 60, onde já se tinham alguns estudos sobre as fibras e seus desenvolvimentos, bem como das reações químicas. Outro fato que motivou as análises foi o descobrimento dos efeitos negativos causados pelo amianto para a saúde humana. Diante disso, um novo tipo de fibra de vidro foi produzido na Inglaterra, sendo denominada de fibra de vidro AR (álkali-resistant). A produção desse material foi resultado da adição de óxido de zircônio ao processo de fabrico. Essa fibra possuía uma resistência mais elevada ao ataque dos álcalis ocasionado pelo hidróxido de cálcio, proveniente das reações de hidratação do cimento e, conseqüentemente, melhores desempenhos na resistência e durabilidade (FERNANDES, 2008).

Uma comparação entre as fibras de vidro do tipo "E" e do tipo "AR" foi realizada com os dois materiais sendo submersos em uma solução com cimento

Portland. A solução foi aquecida a 80 °C com o intuito de simular um acelerado envelhecimento do aglomerante. Na Figura 1, nota-se uma grande diferença comparando os dois tipos de fibras, onde a fibra de vidro AR possui resistência à tração bem superior ao da fibra do tipo “E” ao longo do tempo.

Figura 1 – Resistência à tração das fibras de vidro



Fonte: Fernandes (2008).

2.2.2 Aplicações do GRC

O GRC pode ser fabricado através de diferentes formas e perfis, com ótimos acabamentos. É muito utilizado como painéis de revestimentos leves, com a finalidade de revestir o exterior dos edifícios modernos. O material é considerado como um dos mais flexíveis para a engenharia civil, podendo ser utilizado de diversas maneiras alternativas aos materiais mais comuns no mercado. A grande vantagem do GRC é em relação a redução do peso das peças ao compararmos com o concreto pré-fabricado. Com isso, pode haver uma boa redução nos custos de manuseio, transporte e montagem das peças (LOUREIRO, 2014).

Fernandes (2008) afirma que o ramo da construção se encontra muito receptivo ao sistema construtivo com a utilização do GRC, por apresentar uma peça versátil nas características geométricas, cores, dimensões e texturas. Além disso, a

execução de peças de grande desempenho mecânico e o baixo peso faz com que o peso próprio das peças possa alcançar 1/6 do peso de uma peça de concreto armado.

Conforme Fernandes (2008), o hotel San Francisco Marriot, situado nos Estados Unidos, foi uma das maiores construções realizadas com a utilização de painéis de GRC, possuindo 42 andares e a utilização de 2400 painéis, que pode ser visto na Figura 2.

Figura 2 – Hotel San Francisco Marriot



Fonte: Fernandes (2008).

O GRC também é utilizado em outros tipos de aplicações comuns, através de barreiras nas rodovias, tubos e diversas formas. Na Figura 3, pode ser visto a aplicação do GRC como material de contentor de lixo.

Figura 3 – Contentor de lixo



Fonte: Fernandes (2008).

Em âmbito nacional, o ginásio de esportes da Universidade Luterana do Brasil (ULBRA), localizado na cidade de Canoas, possui painéis de GRC revestidos externamente com placas cerâmicas, conforme a Figura 4. Os painéis utilizados foram do tipo sanduíche, executados através do método pré-mistura, em virtude de a empresa responsável pela fabricação não possuir equipamentos necessários para a projeção do GRC (VEFAGO, 2006).

Figura 4 – Ginásio de esportes da ULBRA



Fonte: Vefago (2006).

De acordo com Vefago e Barth (2006), o edifício garagem da ULBRA (Figura 5) contém painéis de GRC do tipo sanduíche, possuindo detalhes de forma sinuosa apresentando parte com textura arranhada e parte com textura lisa.

Figura 5 – Edifício garagem da ULBRA



Fonte: Vefago e Barth (2006).

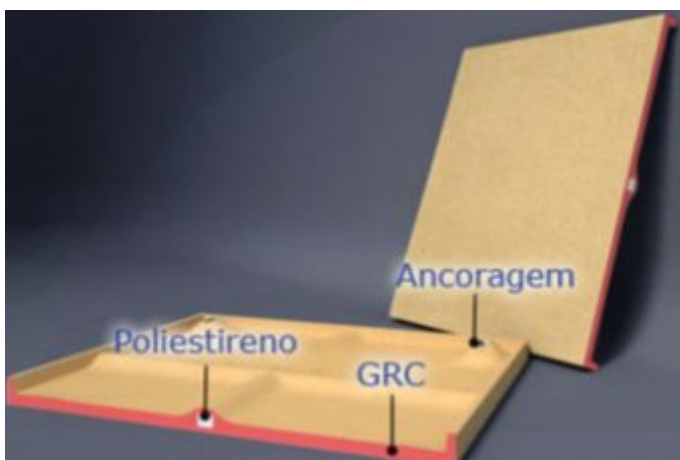
2.2.3 Tipos de painéis do GRC

Atualmente, as aplicações do GRC são diversas, porém em torno de 80 % da produção global equivale a fabricação de painéis de fachadas pré-fabricadas. Existem três tipos de painéis de GRC presentes no mercado: tipo casca, sanduíche e stud frame, também chamado de nervurado (PEREIRA, 2013).

- **Painel Tipo Casca:** contém uma faixa de revestimento de GRC que serve para a colocação de nervuras para reforço, conforme a Figura 6, com o objetivo de garantir a estabilidade da peça. É um tipo de painel que não pode ser projetado de uma forma muito complexa, pois as nervuras de reforço exercem uma limitação nas formas. Outro fato é de que os painéis são considerados pequenos, podendo ter dimensões de no máximo 7 m². Na questão do peso, possuem uma boa leveza, estando entre 30 kg/m² e 45 kg/m² (FERNANDES, 2008).

Segundo Pereira (2013), esses painéis possuem uma espessura de, aproximadamente 12 a 13 mm. As nervuras devem estar espaçadas a uma distância de no máximo 1000 mm, com seu comprimento estando entre 20 mm e 100 mm.

Figura 6 – Painel de GRC do tipo casca



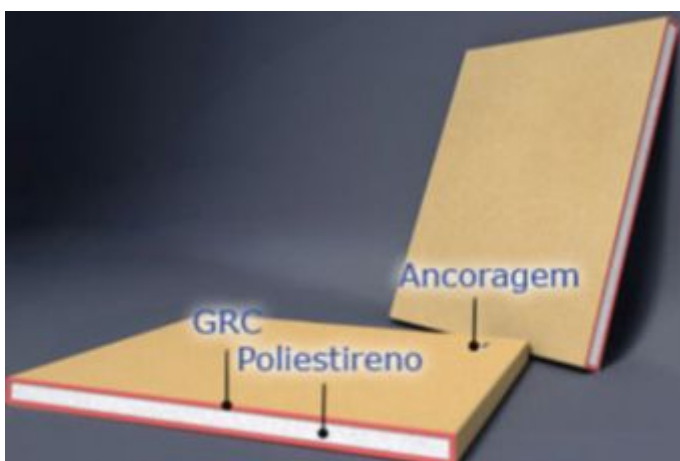
Fonte: Fernandes (2008).

- **Painel Tipo Sanduíche:** são fabricados com duas faixas de revestimento de GRC, possuindo internamente um material isolante. Geralmente, para este tipo de painel, são fabricados com duas faixas de GRC com 10 mm e o seu interior

contendo poliestireno expandido de 100 mm, de acordo com a Figura 7. O painel do tipo sanduíche pode ser fabricado contendo uma área de até 12 m², sendo peças com superfícies planas, com uma de suas dimensões restritas a 3,5 metros, devido a restrições no transporte das peças para a obra. O peso da placa varia de 60 kg/m² a 80 kg/m², de acordo com o material de acabamento utilizado (FERNANDES, 2008).

Segundo Loureiro (2014), esse sistema construtivo é considerado como uma técnica muito eficiente em relação a capacidade de resistência e rigidez, onde o GRC é posicionado nos locais de solicitações máximas.

Figura 7 – Painel de GRC do tipo sanduíche

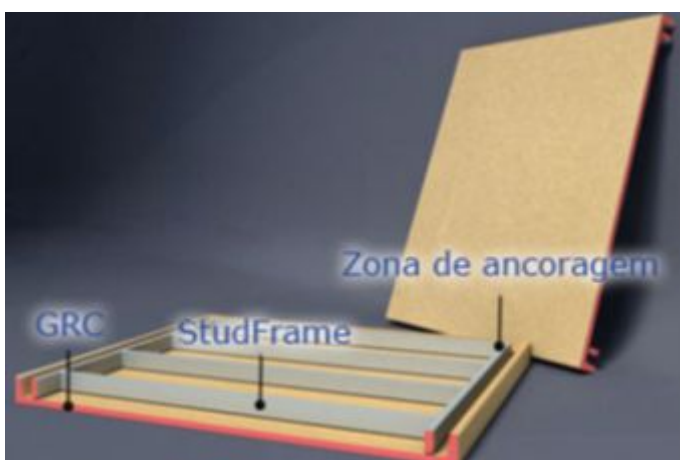


Fonte: Fernandes (2008).

- **Painel Tipo Stud Frame:** composto por uma faixa de revestimento de GRC que possui estrutura metálica com a finalidade de reforçar a estrutura, que pode ser visto na Figura 8. Esse método foi criado pelos americanos e possibilitou projetos de peças mais rígidas, garantindo uma maior liberdade na geometria das placas. O espaço resultante entre a estrutura metálica e o edifício serve para executar a ligação dos painéis. Muitas vezes, são colocadas passagens de instalações e materiais acústicos no espaço resultante entre a envoltória do paramento interno e externo, podendo ocorrer ganhos na área útil da edificação. É um painel que pode ser fabricado possuindo uma área máxima de 22 m², sempre tendo cuidado nas restrições de transporte da peça. Seus pesos variam entre 45 kg/m² e 65 kg/m² (FERNANDES, 2008).

Segundo Loureiro (2014), as ancoragens devem ser espaçadas regularmente, possibilitando um maior controle da ação dos ventos. As ancoragens podem ser de diferentes tipos, como: flexíveis, na forma de L, e ancoragens de suporte, colocadas na base do painel.

Figura 8 – Painel de GRC do tipo stud frame



Fonte: Fernandes (2008).

2.2.4 Produção

Grande parte das tecnologias utilizadas na indústria dos plásticos que utilizam como reforço as fibras também está presente na produção dos painéis de GRC. As etapas contribuem para a inserção de maiores quantidades de fibras com a finalidade de obter um ganho maior na resistência dos produtos fabricados. No entanto, é necessária uma adaptação para que a indústria da construção se compatibilize com os materiais presentes no processo de fabricação (FERNANDES, 2008).

Segundo Pereira (2013), a produção deve ser realizada com a presença de matérias de primeira linha, com confiança e qualidade. A fabricante deve possuir um local adequado para a fabricação, equipamentos adequados, etapas de controle de qualidade para a produção de painéis de tamanho e desempenho específicos, e ainda atender a produção da empresa.

Fernandes (2008) afirma que o projetista e o fabricante devem interagir para a definição das diretrizes do projeto, analisando as particularidades de cada tipo de projeto. Após as análises das informações, define-se qual o tipo adequado de painel de GRC que deve ser utilizado para tal obra, partindo para os processos de dimensionamento que devem atender as solicitações ao longo da vida útil da placa.

2.2.5 Processos de produção

Dentre as diversas maneiras de produção do GRC, destacam-se duas principais utilizadas mundialmente: projeção direta (spray-up) e pré-mistura (premix).

- **Spray-up:** é um método que pode ser executado facilmente e que possui uma grande qualidade e, também, o mais utilizado na indústria do GRC. Permite fabricar elementos possuindo o dobro da resistência mecânica ao compararmos com o método premix. No método spray-up, as fibras não são danificadas, garantindo assim uma boa distribuição de fibras maiores e teores reduzidos de relações água/cimento (PEREIRA, 2013).

Duarte (2014) afirma que esse método é realizado diretamente contra o molde, com a utilização de uma pistola composta por duas unidades de projeção, pelo fato de a argamassa e fibra serem projetadas de forma separada. Antes da realização da projeção, o molde deve ser umedecido para uma boa qualidade da peça. Ao contrário do método premix, a fibra de vidro e a pasta de cimento entram em contato somente na superfície do molde, momento em que é executada a projeção.

A projeção é realizada em diversas camadas até obter a espessura final desejável da peça, onde as camadas são compactadas com o auxílio de um rolo. A primeira camada deve ser de argamassa, com o objetivo de evitar a presença de fibras na face da peça, em seguida deve ser projetada a camada de GRC, camada de argamassa com fibras (LOUREIRO, 2014).

Segundo Fernandes (2008), o teor de fibra a ser adicionado na projeção fica em torno de aproximadamente 5% e com uma relação água/cimento considerado baixa, entre 0,30 e 0,35, o que exige o uso de aditivos plastificantes com a finalidade de garantir a fluidez necessária para a projeção. O traço sugerido pelo autor pode ser visto na Tabela 1.

Tabela 1 – Composição da mistura método spray up

Materiais	Quantidade
Cimento	50 Kg
Areia	50 Kg
Água	15 - 17 litros
Plastificante	Conforme fabricante
Polímero	Opcional
Fibra de vidro cortada (25 a 40 mm)	3 a 5%

Fonte: Fernandes (2008).

- **Premix:** esse método de fabricação foi desenvolvido com a finalidade de empregar os mesmos equipamentos utilizados para os produtos pré-fabricados de concreto convencional na produção dos elementos de GRC. A mistura inicial é realizada com os materiais que compõem a argamassa, sendo acionadas posteriormente no equipamento misturador as fibras de vidro AR (FERNANDES, 2008).

Conforme Loureiro (2014), com a utilização desse método é difícil garantir uma boa distribuição das fibras de vidro na peça, pois é realizada de forma tridimensional, e em muitas ocasiões as fibras não se espalham corretamente no plano de solicitações das forças. No entanto, é um método flexível e a fabricação de peças menores pode ser realizada em curtos períodos, com a utilização de diversos moldes.

A quantidade de água a ser usada na mistura deve ser a mais baixa possível, possuindo uma relação água/cimento de no máximo 0,35, evitando o aparecimento

de problemas de retração. O teor de fibra de vidro AR deve obedecer a uma quantia entre 1,5% a 3% do peso total da peça (PEREIRA, 2013).

Segundo Silva (1998), nesse tipo de método é indispensável o uso de aditivos, que tem a finalidade de manter a homogeneidade da mistura, evitando a redução da fluidez da mistura, bem como facilitando a distribuição das fibras.

Fernandes (2008) sugere o seguinte traço para a fabricação das peças, de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2 – Composição da mistura método premix

Materiais	Quantidade
Cimento	50 Kg
Areia	50 Kg
Água	15 - 17 litros
Plastificante	Conforme fabricante
Polímero	Opcional
Fibra de vidro cortada (12 a 24 mm)	1,5 a 3%

Fonte: Fernandes (2008).

2.2.6 Materiais

Para a fabricação do GRC, são utilizados os seguintes materiais:

- **Cimento Portland:** para a confecção das peças em GRC, é significativo a utilização do cimento CP V ARI, que proporciona uma alta resistência inicial. Com isso, o tempo de espera para a desforma tem uma diminuição considerável, o que contribui para agilizar a produção. Outros tipos de cimento também podem ser utilizados, desde que cumpram as exigências das resistências que são especificadas para o GRC (GUIMARÃES, 2016).

De acordo com Duarte (2014), é de grande importância o armazenamento correto do cimento, independentemente do tipo, pois a umidade pode ser muito

prejudicial para o material. Também deve ser usado o mais rápido possível, para evitar a perda de resistência do cimento. Na utilização de cimento branco para a produção de GRC, deve-se ter atenção no armazenamento, fabricação e cura, com o intuito de evitar possíveis descolorações e contaminações e garantir uma boa qualidade final do produto.

- **Água:** a água utilizada na fabricação de GRC deve ser limpa, sem conter algum tipo de matéria orgânica, bem como não possuir nenhum tipo de contaminação (DUARTE, 2014).

- **Areia:** a granulometria da areia depende de qual método o GRC é produzido. Se o método for spray up o tamanho máximo das partículas é de 1,2 mm e se for premix é de 2,4 mm (GRCA, 2015).

Guimarães (2016) recomenda a utilização de uma areia que tenha origem silícica, mas outros tipos de areias também podem ser utilizados, sob condição de o fabricante certifique a qualidade do material presente na mistura.

- **Aditivos:** o aditivo é considerado como um produto que adiciona propriedades ao concreto melhorando a qualidade final, diferente do que a adição traz ao concreto. O aditivo pode ser utilizado em até 5% do peso do cimento, melhorando as propriedades do GRC (GUIMARÃES, 2016).

Duarte (2014) afirma que os aditivos contribuem positivamente no processo de fabricação do GRC: na trabalhabilidade, coesão, segregação e endurecimento. Já nas propriedades do GRC atua no desenvolvimento da resistência, permeabilidade e resistência ao fogo. Deve-se ter atenção para não adicionar uma quantia maior de aditivo do que o especificado pelo fabricante, tendo assim uma dosagem correta.

- **Fibra de vidro:** a fibra de vidro utilizado em painéis de GRC é a do tipo AR (alkali resistant), que possui características mecânicas e proporciona uma resistência para a argamassa. A principal característica da fibra é ser resistente aos álcalis do cimento, por possuir no mínimo 16% de óxido de zircônio na sua fórmula

de fabricação. Além de possuir alta resistência mecânica e módulo de elasticidade, é resistente à corrosão, retém as características a altas temperaturas, é fácil de fabricar, e é incombustível (FERNANDES, 2008).

De acordo com Guimarães (2016), o comprimento das fibras varia de 12 mm a 35 mm no processo de produção do GRC, tendo influência do método utilizado. No método de spray-up o comprimento é de 30 a 35 mm e no premix é de um comprimento de 12 mm.

Nas aplicações de GRC é utilizado uma composição entre 1,5% a 5% de fibras de vidro em relação a massa do cimento. As fibras de vidro, ilustradas na Figura 9, são envolvidas pela pasta do cimento, garantindo a estabilidade e fazendo com que os esforços atuantes se distribuam para as fibras. Deve-se ter cuidado quanto a relação/cimento, não podendo ser uma razão alta para não ocasionar uma matriz muito porosa e frágil e, também, não ser uma razão baixa para garantir a hidratação do cimento (FERNANDES, 2008).

Figura 9 – Fibras de vidro



Fonte: Fernandes (2008).

- **Fibra de polipropileno:** é considerada como um material de fácil acesso, por possuir um custo bem acessível e ser facilmente encontrada no mercado. Não absorvem água, não reagem quimicamente, não enferruja, dentre outras características. A fibra de polipropileno tem grande importância pelo fato de ser um material que combina perfeitamente no parâmetro de misturas fibrosas (RODRIGUES; MONTARDO, 2002).

Segundo Figueiredo (2011), essas fibras são utilizadas para evitar o aparecimento de fissuras na superfície do material, mas deve-se manter o cuidado no processo de cura para garantir a eficiência do uso das fibras. As fibras de polipropileno podem ser vistas na Figura 10.

Figura 10 – Fibras de polipropileno



Fonte: Figueiredo (2011).

As fibras de polipropileno apresentam como principais características a alta resistência ao ataque químico e a inércia, bem como a baixa densidade ao ser comparada com outros materiais. Apresentam um baixo módulo de elasticidade e baixo custo (GARCEZ, 2005).

De acordo com Bentur e Mindess (2007), as fibras de polipropileno tem como desvantagens a baixa resistência ao fogo, sensibilidade à luz do sol e oxigênio e fraca aderência com a matriz cimentícia. São fabricadas a partir da resina de polipropileno do tipo homopolímero em vários tamanhos e formas, através de diferentes propriedades.

- **Fibra de aço:** normalmente, as fibras de aço contêm ganchos nos seus extremos, que podem ser vistos na Figura 11, para um ganho maior de ancoragem, apresentando um comprimento de 25 mm (fibras curtas) a 60 mm (fibras longas) (FIGUEIREDO, 2011).

Pouca (2016) afirma que as fibras de aço são importantes no controle de fissuração de concretos que possuem uma maior resistência. Também é utilizada na

substituição da armadura passiva, garantindo a resistência à tração e à flexão, melhor amarração ao concreto e uma maior durabilidade.

Figura 11 – Fibras de aço



Fonte: Figueiredo (2011).

De acordo com Figueiredo (2011), a maioria das fibras é produzida com aço carbono ordinário. Existem diversos processos de fabricação que tem como resultado final a fibra de aço, sendo o mais utilizado o do corte do arame trefilado, que contém aço de baixo teor de carbono. As fibras que são fabricadas com a execução de ligas metálicas são as que possuem uma maior resistência à corrosão e mais indicadas para uso em concretos refratários e estruturas marítimas.

A NBR 15530 (ABNT, 2007), classifica as fibras de aço em relação a geometria, sendo em três tipos: fibra de aço com ancoragem nas extremidades (Tipo A), fibra de aço corrugada (Tipo B) e fibra de aço reta (Tipo R).

Além disso, conforme NBR 15530 (ABNT, 2007), as fibras são classificadas pelo processo que se realizou para a sua fabricação, divididas em três classes: fibra oriunda de arame trefilado a frio (Classe I), fibra oriunda de chapa laminada cortada a frio (Classe II) e fibra oriunda de arame trefilado e escarificado (Classe III).

2.2.7 Propriedades mecânicas

A composição da mistura, composição e dimensões da fibra de vidro, e a habilidade da mão de obra presente na fabricação são fatores que influenciam diretamente nas propriedades mecânicas do GRC. Dessa forma, cada mistura

utilizada deve ser avaliada individualmente para a análise das propriedades a serem utilizadas no projeto. Geralmente o controle de qualidade da fabricação do GRC é realizado aos 28 dias, com a finalidade de verificar as características de projeto. É importante a atenção quanto aos ambientes exteriores em quais os painéis de GRC são instalados, onde devem-se verificar as questões do envelhecimento da peça, assegurando que os esforços e tensões são mantidos de acordo com as solicitações de projeto, tendo em conta o material envelhecido (PEREIRA, 2013).

Todos os materiais utilizados na fabricação do GRC devem cumprir as exigências mínimas presentes nas normas específicas que se trata de cada material. Além disso, é necessário que cada fabricante do GRC mantenha guardada uma amostra de todos os materiais que foram utilizados por um determinado tempo. A norma NBR 15305 (ABNT, 2005) mostra todos esses parâmetros que devem ser seguidos.

2.2.8 Fatores importantes que afetam as propriedades mecânicas do GRC

As propriedades mecânicas do GRC podem sofrer alterações conforme as mudanças na composição da mistura. Geralmente, na etapa da mistura, utiliza-se uma relação cimento/areia que varia de 1:1 até 3:1. A areia não apresenta uma padronização na sua granulometria. A presença de fornecedores diferentes pode fazer com que apareçam variações no desempenho do cimento Portland, que é o mais utilizado pela indústria da construção. Portanto, cada produto ou material podem ter alterações de um fabricante para outro (PEREIRA, 2013).

Na questão das propriedades de resistência, a fibra de vidro tem extrema importância, através da sua parcela utilizada na mistura e a sua forma. O processo utilizado para a produção do GRC também é significativo. Na utilização do método spray up, o GRC possui maior resistência, teores de fibras de 4% a 5% e com comprimento de 25 mm a 40 mm. Já no método premix, é utilizado um teor de fibra de 2% a 3,5%, possuindo um comprimento de 12 mm (GRCA, 2015).

Segundo Duarte (2014), o comprimento da fibra tem grande influência no resultado da resistência última da mistura, bem como a consolidação e compactação. O comprimento da fibra de vidro é considerado ideal de 25 a 50 mm.

Além do comprimento e teor da fibra de vidro, sua disposição na peça é de extrema importância para obter um resultado ideal nas propriedades da mistura. As fibras precisam estar dispostas de forma aleatória na peça e não posicionadas de forma alinhada paralelamente, o que pode ocasionar diferentes características da mistura em uma mesma peça (PEREIRA, 2013).

A consolidação e compactação do compósito deve ser realizada de maneira adequada, com o objetivo de se obter uma boa penetração da fibra, espessura e densidade da mistura. Com isso, possíveis mudanças nas propriedades dos materiais não ocorrem. A cura é essencial para garantir a qualidade da fibra, fazendo com que o óxido de zircônio tenha uma quantidade adequada de reatividade aos álcalis do cimento. A umidade e temperatura devem ser controladas para obter uma cura adequada (DUARTE, 2014).

As propriedades mecânicas do GRC são influenciadas pelos seguintes fatores:

- proporção de fibra de vidro;
- posição da fibra de vidro;
- relação água/cimento;
- relação areia/cimento;
- porosidade da mistura;
- densidade da mistura;
- procedimento de cura.

- Resistência à tração e flexão:

A resistência à flexão é considerada a propriedade que é testada com mais frequência, com a maioria dos projetos baseando-se na mesma. Seguramente, é a propriedade mecânica mais significativa do GRC. A classificação do GRC é do

mesmo modo do que o concreto. O concreto é caracterizado pela resistência a compressão, como por exemplo, uma classificação C30, que quer dizer resistência à compressão de 30MPa aos 28 dias de idade. Já o GRC é classificado pela resistência à flexão, um GRC18 quer dizer que sua resistência à flexão é de 18 MPa aos 28 dias de idade (GRCA, 2015).

Pereira (2013) afirma que as resistências à tração e à flexão são influenciadas diretamente pelas fibras de vidro, através do seu comprimento, conteúdo e posicionamento na peça.

Os limites elásticos à tração e flexão sofrem alterações conforme a composição da matriz. No entanto, também podem ser influenciados pelos processos de cura e densidade, que fazem parte do processo de início da fissuração da matriz (DUARTE, 2014).

Sartori (2019) obteve os seguintes resultados nos testes de flexão utilizando as fibras de polipropileno na produção de fachadas produzidas com CPR baseadas no sistema GRC, com a introdução de três teores de fibra, conforme a Tabela 3.

Tabela 3 – Resultados de resistência à flexão

Teor de fibra	Resistência (MPa)	
	7 dias	28 dias
0%	12,31	13,03
2%	10,80	11,94
4%	9,92	11,70

Fonte: adaptado de Sartori (2019).

- Resistência à compressão:

As características da matriz são determinantes na resistência à compressão do material. A resistência à compressão não sofre influência das fibras de vidro, independente da presença ou não das mesmas (PEREIRA, 2013).

De acordo com Guimarães (2016), não é adequado caracterizar o GRC por resistência à compressão, pelo fato de que placas possuem espessuras bem

reduzidas, aproximadamente 12 mm. Dificilmente uma placa de GRC irá trabalhar a compressão pura em alguma solicitação.

- Resistência ao impacto:

As propriedades das fibras influenciam diretamente na resistência ao impacto do GRC. O comprimento da fibra é o fator preponderante. Quanto maior o comprimento da fibra, maior será a resistência ao impacto. O GRC apresenta maior resistência aos 28 dias se compararmos com pastas de cimento sem nenhum tipo reforço ou com outro tipo de cimento. No entanto, para o projeto essa propriedade não é considerada (PEREIRA, 2013).

Os painéis de GRC apresentam uma boa resistência ao impacto, mas caso as fibras de vidro apresentem um comprimento não adequado, a peça poderá ter características menos resistentes ao serem solicitadas com as cargas de impacto (DUARTE, 2014).

- Absorção de água e permeabilidade:

As peças de GRC apresentam características que absorvem e perdem rapidamente o teor de umidade. Quanto mais velha for a peça do GRC, menos ar e vapor a placa terá (DUARTE, 2014).

Segundo Guimarães (2016), a porosidade e a absorção de água do GRC apresentam maiores valores do que um concreto comum, pelo fato de apresentar uma quantidade maior de cimento na mistura.

Sartori (2019) obteve os seguintes resultados nos testes de absorção de água utilizando as fibras de polipropileno na produção de fachadas produzidas com CPR baseadas no sistema GRC, com a introdução de três teores de fibra, conforme a Tabela 4.

Tabela 4 – Resultados de absorção de água

Teor de fibra	Valor em %	
	24 horas	7 dias
0%	5,43	6,98
2%	5,98	6,68
4%	5,68	6,38

Fonte: adaptado de Sartori (2019).

2.2.9 Cura do GRC

A hidratação adequada do cimento é de extrema importância para que a cura dos painéis de GRC consigam alcançar as propriedades esperadas que dependem da fibra e dos materiais utilizados na mistura (PEREIRA, 2013).

Segundo Fernandes (2008), é necessário um cuidado no processo da cura para que a resistência mecânica final não perca suas características iniciais. Normalmente, as peças de GRC possuem valores baixos de água e contêm uma espessura de painel muito reduzida. A quantidade de água utilizada na mistura deve ser regulada para que ocorra a hidratação do cimento de forma adequada, restando a água e evitando a evaporação de água. Com isso, a peça dificilmente sofrerá de perdas de resistência inesperadas.

2.2.10 Armazenamento, transporte e montagem

O armazenamento e transporte das peças de GRC devem ser realizados com bastante cuidado, não colocando a superfície do painel a algum tipo de carga. Devem ser amarrados pelo elemento estrutural da peça e armazenados com atenção. Os painéis de GRC, no processo inicial de cura, possuem diversas sensibilidades a deformações, por isso o cuidado no armazenamento das peças é muito importante. A superfície de armazenamento deve ser plana e sem

irregularidades. A proteção dos painéis deve ser com a cobertura dos mesmos, evitando o contato com superfícies expostas (DUARTE, 2014).

Fernandes (2008) afirma que a montagem dos painéis deve ser bem planejada para se ter um resultado excelente. Esse processo envolve uma análise de várias etapas com os coordenadores de projeto, normalmente entre o fabricante, transportador, operador de máquinas e montagem e o construtor. Antes do início da montagem, é importante analisar o acesso ao canteiro de obras de todos os maquinários necessários, verificar as dimensões do edifício e demais estruturas, com a finalidade de evitar perdas desnecessárias, bem como criar um planejamento otimizado para garantir uma montagem qualificada na obra. Com isso, se faz necessário a utilização de caminhões, guias, plataformas elevatórias, etc.

Com a finalidade de evitar os riscos e gastos extras no canteiro de obras, os painéis de GRC, através de guias e plataformas elevatórias, devem ser içados diretamente do caminhão para a edificação em construção (PEREIRA, 2013).

2.2.11 Vantagens e desvantagens do uso de GRC

Conforme Duarte (2014), na produção e utilização, os painéis de GRC apresentam as seguintes vantagens:

- rápida execução;
- ótimo controle de qualidade;
- mão de obra independente do local;
- não sofre com os fatores climáticos na produção;
- otimização de espaço no canteiro de obras;
- melhora no planejamento da obra.

O espaçamento criado entre as placas e a fachada é adequado para as instalações de diversos materiais, como: tubulações e isolantes. Com isso, pode

gerar um ganho de área útil do edifício, pelo fato de a alvenaria não necessitar ser tão espessa para a passagem de tubulações, por exemplo (VICENZI, 2015).

Segundo Silva e John (1998), nos painéis de GRC podem ser introduzidas diversas texturas e cores, mas a textura do molde é, logicamente, como a solução mais econômica. No entanto, podem ocorrer dois problemas: superfície irregular depois da desforma e aparecimento de fissuras na superfície da pasta de cimento. Para obter uma superfície com boa uniformidade, é necessário um controle de qualidade elevado.

As fissuras podem provocar um problema estético na superfície da peça, mas que não são visualizadas a média distância e não influenciam diretamente na durabilidade da peça. O que pode ocorrer é o aparecimento de micro-organismos na peça, em virtude de as fissuras absorverem água e poluentes (JOHN; SILVA, 1998).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Notou-se que o sistema construtivo GRC apresenta uma probabilidade considerável para o aparecimento de fissuras, bem como a retração do material em virtude do alto teor de cimento, o que gera elevado calor de hidratação. Com isso, pensou-se em fabricar placas utilizando o sistema de GRC pelo processo de fabricação premix com a utilização de três teores e três tipos de fibras.

As placas pré-fabricadas em GRC são normatizadas pela NBR 15305 (ABNT, 2005), que nos indica quais os ensaios que devem ser realizados para atender os requisitos necessários. Na questão do concreto, com a utilização das fibras de vidro para reforço, a NBR 15306 (ABNT, 2005) é a norma que deve ser atendida na realização dos ensaios, sendo dividida em sete partes. Todas essas normativas têm como base o *Glassfibre Reinforced Concrete Association* (GRCA International), que é a referência nesse ramo de produtos em GRC, fazendo parte de uma associação de fabricantes.

O traço para a elaboração das placas foi retirado de Fernandes (2008), sendo adequado para a utilização dos materiais disponíveis no campo de estudo, conforme o Quadro 1, que especifica o traço de dosagem considerando os materiais secos e medidos em massa.

Com o objetivo de analisar a influência das fibras de aço, polipropileno e vidro no material em estudo, optou-se pela utilização de diversos teores de fibras para adicionar na mistura, sendo esses teores definidos em três valores: 0,5%, 1% e

1,5% sobre a massa do ligante. Os teores de fibras foram definidos pelo autor, tendo como referência o trabalho de Sartori (2019), pelo fato de que os teores de fibras (0%, 2% e 4%) utilizados pelo autor não geraram um ganho de resistência à flexão com o aumento dos teores na placa, possivelmente ocasionado pela dificuldade de moldagem, visto que o teor de 4% é um teor bastante elevado de fibra. Espera-se que com a utilização de teores mais baixos de fibras a placa possa ter uma resistência à flexão similar ou superior, em função de melhores condições de moldagem e melhor aproveitamento do material.

Quadro 1 – Traço unitário para a realização do estudo

Material	Cimento	Areia	Água	Plastificante	Fibras
Traço unitário	1	1	0,3	0,015	0,5%, 1,0% e 1,5%

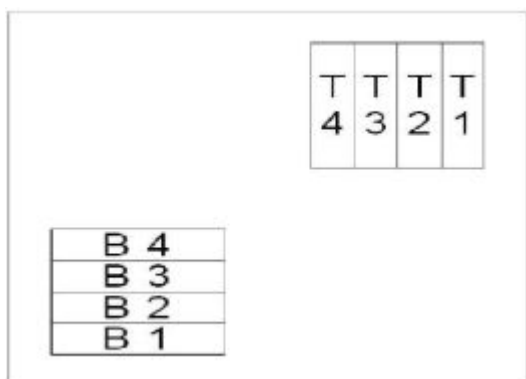
Fonte: Fernandes (2008).

Os ensaios de flexão e absorção de água são realizados no estado endurecido, sendo que o ensaio de flexão deve atender aos requisitos da NBR 15306-5 (ABNT, 2005) e o ensaio de absorção de água ao preconizado na NBR 15306-6 (ABNT, 2005). Para os testes foram necessários fabricar placas com dimensões de 80 cm X 50 cm, onde a placa deverá possuir sua espessura final para ser aplicada na fachada. Dessa maneira, necessita-se duas placas para o teste de flexão e uma placa para o teste de absorção de água, somente para cada teor de fibra. Para os testes de flexão são confeccionadas duas placas em virtude da análise aos 7 e 28 dias. Portanto, foi preciso fabricar 18 placas para o ensaio de flexão e 9 placas para o ensaio de absorção de água, resultando em um total de 27 placas, visto que são 3 tipos de fibra (Fibras de aço, polipropileno e vidro) e 3 teores para cada. As amostras cortadas das placas de ambos ensaios são caracterizados através da nomenclatura de letras “B” e “T”, conforme sua posição na placa (Figura 12).

Depois de confeccioná-las, as placas que possuem dimensões de 80 cm X 50 cm devem ser cortadas em dimensões menores, normalmente no momento da desforma, seguindo os requisitos do ensaio a ser realizado. De acordo com a Figura 12, são extraídas um total de 8 placas menores, separadas nas formas horizontais e

verticais, sendo 4 placas para cada sentido. Conforme a NBR 15306-5 (ABNT, 2005), o recorte deverá possuir uma largura de 5 cm e o comprimento é variável, e dependente da espessura, que é o seu parâmetro de referência, conforme pode ser visto na Tabela 5.

Figura 12 – Disposição das placas para o ensaio de flexão



Fonte: NBR 15306-5 (ABNT, 2005).

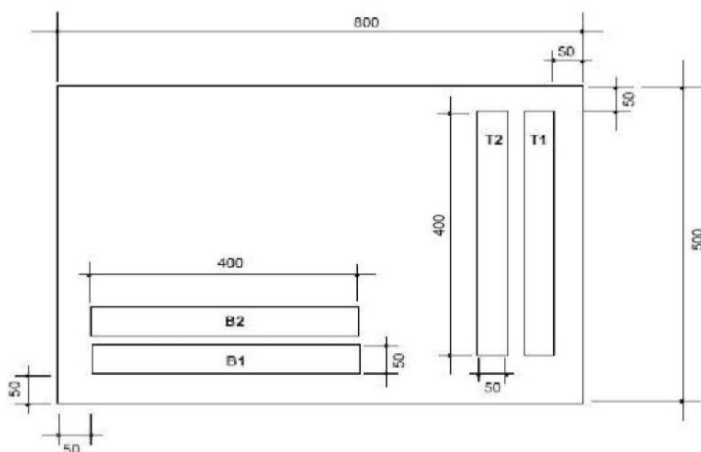
Tabela 5 - Comprimento do recorte de acordo com sua espessura

Espessura nominal em mm	≤6,7	6,8 a 10	10,1 a 12,5	12,6
Comprimento / tolerância em mm	160	225	275	325

Fonte: NBR 15306-5 (ABNT, 2005).

A Figura 13 nos mostra os detalhes que devemos ter para a realização dos cortes no ensaio de absorção de água.

Figura 13 – Disposição dos cortes para o ensaio de absorção de água



Fonte: NBR 15306-6 (ABNT, 2005).

De acordo com a NBR 15306-6 (ABNT, 2005), para o ensaio de absorção de água é necessário o corte de 2 placas na posição horizontal e 2 na posição vertical, totalizando 4 placas. Essas placas devem ser de dimensões menores, possuindo 40 cm de comprimento e 5 cm de largura.

Adotou-se uma espessura da placa de 15 mm com o intuito de facilitar a fabricação da forma.

Com o traço definido para a moldagem das placas cimentícias, bem como todos os ensaios que serão realizados nas mesmas, elaborou-se um fluxograma do programa experimental com o objetivo de facilitar a compreensão da metodologia, que pode ser visto na Figura 14.

Figura 14 – Fluxograma do programa experimental



Fonte: Autor (2020).

Com o objetivo de analisar se os efeitos e interações dos testemunhos realizados são significativos, efetuou-se o teste estatístico da análise da variância ANOVA, que basicamente compara três ou mais grupos de referências, sendo possível realizar a análise entre as médias dos testemunhos (MQentre) e a variância das amostras dentro de cada conjunto (MQdentro). Para se obter as variâncias efetua-se o cálculo da soma dos quadrados entre os conjuntos (SQentre), que trata do somatório dos quadrados das médias dos conjuntos, sendo esses subtraídos pela média das médias, bem como as somas dos quadrados dos conjuntos (SQdentro). Após isso, subtrai-se o SQentre pelo SQtotal que basicamente é o somatório dos quadrados dos testemunhos menos o quadrado da soma dos testemunhos dividido pelo número de testemunhos, e os graus de liberdade (gl) dos testemunhos (N-K), sendo N o número de testemunhos e K o número de grupos, e o dos grupos (K-1).

A diferença significativa ou não significativa são as duas hipóteses de resposta que a variância ANOVA estabelece. A forma utilizada neste estudo foi o de nível de significância (Δ), que significa em assumir-se um erro aceitável (geralmente 5%), comparando com o valor -P, sendo esse o erro calculado pela variância ANOVA. Nesse caso, se $-p < \alpha = 0,05$, pode-se dizer que há diferença significativa entre os grupos dos testemunhos e, caso ocorra o contrário, pode-se dizer que não há diferença significativa entre os testemunhos.

No caso de ser constatada uma diferença entre os testemunhos após o cálculo da variância ANOVA, é relevante verificar se todos os grupos se convergem ou se divergem. Para isso, uma das hipóteses é a utilização do teste de Tukey, onde pode-se verificar qualquer diferença entre as médias, portanto, nos mostra quais as médias que se convergem e quais de divergem. O teste fundamenta-se na Diferença Mínima Significativa (DMS), atrelada com a raiz quadrada de MQdentro dividido pelo número de repetições (N) e multiplicado pela amplitude estudentizada (q), sendo obtida com o auxílio de uma tabela que contém os dados de entrada que são o número de tratamentos (I) e os graus de liberdade (gl), que são localizados dentro dos grupos, geralmente com um nível de significância (Δ) de 5%.

Utilizou-se o software Minitab para o cálculo da variância ANOVA e teste Tukey. É um software estatístico e gratuito na versão para estudantes, que classifica cada grupo de testemunhos com uma respectiva letra, onde é possível verificar se os grupos diferem ou não. Caso temos três grupos de testemunhos, cada um deles recebe uma letra e se todas as médias diferem entre si, cada amostra recebe uma letra diferente (A, B, C).

3.1 Materiais

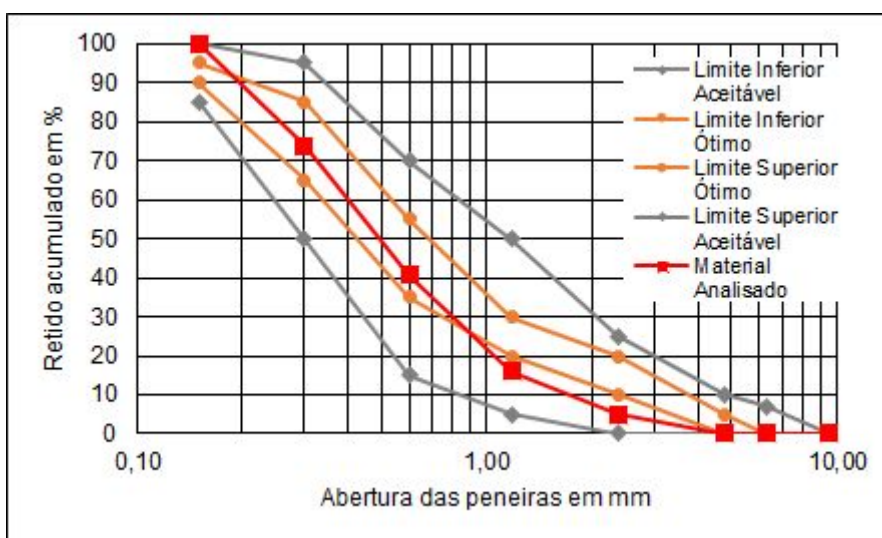
Para a realização da dosagem do concreto, foram utilizados os materiais a seguir:

- **Cimento Portland:** o ligante utilizado foi o CP V ARI – RS, disponibilizado pelo Laboratório de Tecnologias da Construção (LATEC). A caracterização se deu através do ensaio de massa específica, obtendo um resultado de 2970 Kg/m^3 , seguindo os parâmetros da NBR 16605 (ABNT, 2017).

- **Agregado miúdo:** a areia foi disponibilizada pela empresa Comarsul, localizada na cidade de Sapucaia do Sul - RS, com tamanho máximo de partícula de 2,4 mm. Foram realizados os ensaios de granulometria e massa específica, normatizados pela NBR NM 248 (ABNT, 2001) e NBR NM 52 (ABNT, 2002), respectivamente.

Para o ensaio de massa específica o resultado obtido foi de 2604 Kg/m^3 . No ensaio de granulometria estabeleceu-se o módulo de finura em 2,36, e o diâmetro máximo do agregado em 2,4 mm. A granulometria da areia média ficou dentro dos limites aceitáveis, com seus grãos passantes estando em uma forma bem distribuída. O gráfico de granulometria do agregado pode ser visto no Gráfico 1.

Gráfico 1 – Granulometria



Fonte: Autor (2020).

- **Aditivos:** foi disponibilizado pelo Laboratório de Tecnologias da Construção (LATEC), sendo o aditivo do tipo plastificante, com o objetivo de reduzir a relação água/cimento.

- **Fibras de aço, polipropileno e vidro:** dimensões entre 12 e 24 mm.

3.2 Métodos

Depois da caracterização dos materiais, elaborou-se o processo de moldagem das placas, onde a quantidade de material necessário para a fabricação das placas de cada traço era de 28 litros, através do preenchimento de 3 placas e 6 corpos de prova cilíndricos de dimensões 10 x 20 cm.

As misturas foram realizadas em betoneira de eixo inclinado, no Laboratório de Tecnologias da Construção (LATEC), separadamente por cada traço, o que totalizou 9 betonadas, em virtude da presença da quantidade de 9 traços, 3 para cada tipo de fibra utilizada na moldagem com 3 teores de fibras.

No processo de mistura, separou-se todos os materiais em suas certas quantias, que pode ser visto na Figura 15.

Figura 15 – Materiais separados



Fonte: Autor (2020).

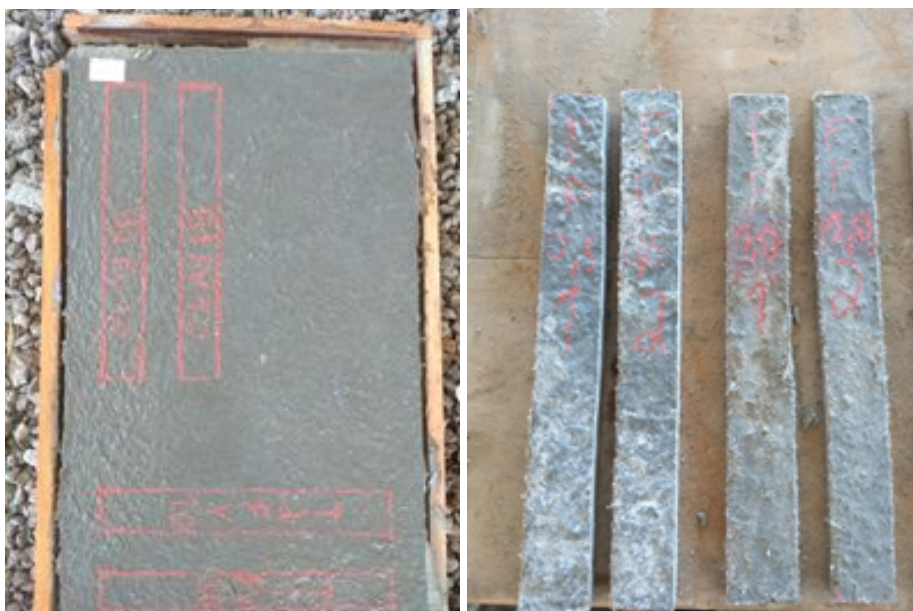
Em função do concreto possuir uma baixa relação água/cimento, os materiais foram adicionados pouco a pouco na mistura, com o intuito de evitar que a mistura

se tornasse com um aspecto muito seco, o que acarretaria uma mistura não homogênea e, como resultado, sem condições para a moldagem.

Em seguida da homogeneização da mistura, realizaram-se os ensaios de consistência para cada traço e, após, a moldagem das respectivas placas e corpos de prova.

De posse das placas moldadas, estabeleceu-se os processos de cura, com as placas permanecendo em cura ambiente por um período de 24 horas. Após esse período, as placas foram desformadas e submetidas ao recorte das amostras para cada ensaio, que pode ser visto na Figuras 16 e 17. Posterior ao recorte das placas, as amostras que foram recortadas para a realização do ensaio de absorção de água, foram mergulhadas em um reservatório com água, seguindo os parâmetros da NBR 15306-6 (ABNT, 2005). Ao mesmo tempo que as amostras do ensaio de flexão aos 7 dias permaneceram em cura ambiente e as amostras do ensaio aos 28 dias foram colocadas na câmara úmida, quando completados os 7 dias de idade.

Figura 16 e 17 – Desforma e corte das placas



Fonte: Autor (2020).

3.2.1 Verificação das propriedades no estado fresco

Para a realização do ensaio no estado fresco foram seguidas como parâmetros as normativas que regulam a produção de argamassas, já que o material produzido para o GRC também pode ser considerado como argamassa.

Para a avaliação de consistência da argamassa, foram utilizados os procedimentos conforme a NBR 13276 (ABNT, 2016), que avalia o espalhamento da argamassa a partir de uma determinada energia aplicada.

Para a realização do ensaio de consistência, utilizou-se um molde troncônico, que foi colocado de modo centralizado sobre a mesa para o índice de consistência. O molde foi preenchido em três camadas sucessivas, sendo aplicadas em cada uma delas, respectivamente, quinze, dez e cinco golpes com o auxílio de um soquete. Em seguida, passou-se a régua metálica para a realização do rasamento da argamassa e retirou-se o molde troncônico. Por fim, aplicou-se 30 quedas consecutivas em 30 segundos. Após a última queda da mesa, mediu-se o espalhamento da argamassa.

O ensaio de consistência seguiu a NBR 13276 (ABNT, 2016), obtendo resultados dos traços que podem ser vistos no Quadro 1. O ensaio de um dos traços pode ser visto na Figura 18, com um resultado de 33 cm.

Figura 18 – Ensaio de consistência



Fonte: Autor (2020).

Quadro 1 – Resultados dos ensaios de consistência dos 9 traços

Tipos de fibra	Valores de consistência em cm		
	0,50%	1,00%	1,50%
Aço	37	36	35
Polipropileno	35	34	34
Vidro	36	34	33

Fonte: Autor (2020).

3.2.2 Verificação das propriedades no estado endurecido

Na fabricação do GRC, a NBR 15305 (ABNT, 2005) normatiza os ensaios que devem ser realizados no estado endurecido. Nota-se que cada tipo de teste possui uma normativa referente a sua finalidade, bem como os períodos em que devem ser realizados os mesmos. Exemplificando, a NBR 15306-5 (ABNT, 2005) determina as etapas para o ensaio de resistência à flexão, bem como a idade mínima de duas semanas para realização do ensaio.

3.2.2.1 Absorção de água

A NBR 15306-6 (ABNT, 2005) determina que para o ensaio de absorção de água é necessário confeccionar uma placa de 800 mm x 500 mm, apresentando a espessura final que irá ter em obra e mantendo a placa por 6 dias em condições iguais de produção. Os corpos de prova devem ter suas dimensões anotadas, possuindo uma precisão de 1 milímetro. Também deve ser calculado o volume do corpo de prova em cm³. Após isso, devem ser colocados no interior de um recipiente contendo água com a finalidade de tapar as amostras por um período de 24 horas, com uma temperatura de 20±2°C. No dia seguinte, as amostras devem ser retiradas do recipiente, secas com o auxílio de um pano e pesadas. Após esse procedimento, devem ser encaminhadas para a estufa, que deve possuir uma temperatura de 105±5°C, por 24 horas. Por fim, as amostras devem ser pesadas após esse período. De acordo com GRCA (2015), valores inferiores a 13% são considerados com

ótimos para absorção de água, onde o valor de 8% foi o menor encontrado em ensaios.

3.2.2.2 Ensaio completo de flexão

A NBR 15306-5 (ABNT, 2005) normatiza o ensaio completo de flexão, que tem por finalidade a confecção de duas placas de 800 mm x 500 mm, sem revestimento e possuindo a sua espessura final, mantendo em cura por seis dias nas condições de fabricação. Depois da realização da desmoldagem, deve-se cortar 8 feixes na placa, 4 no sentido horizontal e 4 no sentido vertical, possuindo largura de 50 mm e comprimento de acordo com sua espessura. Os cortes devem ter 50 mm de distância das extremidades. Aos exatos seis dias, as amostras de uma das placas precisam ser mergulhadas em um recipiente contendo água na sua totalidade com uma temperatura de $20 \pm 2^\circ\text{C}$ em um período de 24 horas, até alcançarem 7 dias. Já as amostras da segunda placa, na idade de 6 dias, necessitam ser colocados em uma câmara úmida e permanecendo por um período de 21 dias. Aos 27 dias, as amostras precisam ser mergulhadas em um recipiente com água na sua totalidade e permanecendo por 24 horas. Nos dois casos, as amostras devem ser testadas em um período de até 30 minutos após retiradas da água e secas para eliminar o excesso de água em torno da amostra, através do auxílio de um pano seco.

O GRCA (2015) estima que a placa deve ter uma resistência à flexão aos 28 dias entre 5 MPa e 14 MPa para o parâmetro de aceitação. Também é indicada uma metodologia de cálculo desenvolvida através do estado limite último (ELU), tensões térmicas e de retração.

Sartori (2019) utilizou a região de Lajeado, Rio Grande do Sul, Brasil, para a determinação da força do vento, onde utilizou um exemplo de uma edificação residencial possuindo 15 metros de altura e obteve como valor mínimo necessário uma resistência à flexão de 8,1 MPa, sendo esta a resistência à flexão mínima que a placa deve suportar aos 28 dias.

Portanto, serão utilizados esses dois valores como parâmetros de aceitação da resistência à flexão aos 28 dias.

3.2.2.3 Resistência à compressão axial

A NBR 5739 (ABNT, 2018) normatiza o ensaio de resistência à compressão, no qual consiste em romper corpos de prova com o objetivo de verificar a resistência que ele possui. As idades de ruptura foram aos 7 e aos 28 dias.

Os corpos de prova possuem dimensões de 100 mm de diâmetro e 200 mm de altura. A colocação da argamassa se deu em quatro camadas de forma uniforme e aplicação de 30 golpes em cada camada com o auxílio de um soquete.

Para cada teor de fibra foram necessários 6 corpos de prova, totalizando 54 corpos de prova, onde se tem três tipos de fibras com três teores diferentes para cada tipo.

4 RESULTADOS

Sabe-se que o GRC é um compósito que nos apresenta características muito atrativas em diversos níveis: engenharia, arquitetura e construção. Com isso, temos diversas maneiras de aplicações que podem ser utilizadas com esse material, apresentando vantagens em soluções convencionais.

A presença de fibras auxilia no combate à fissuração da placa e, conseqüentemente, contribui para uma absorção de água reduzida pelo fato de possuir um menor grau de fissuração. Além disso, as fibras são responsáveis por uma melhora na resistência à flexão, onde as tensões são mais bem distribuídas. No entanto, não é recomendado a utilização de fibras de comprimento elevado.

4.1 Absorção de água

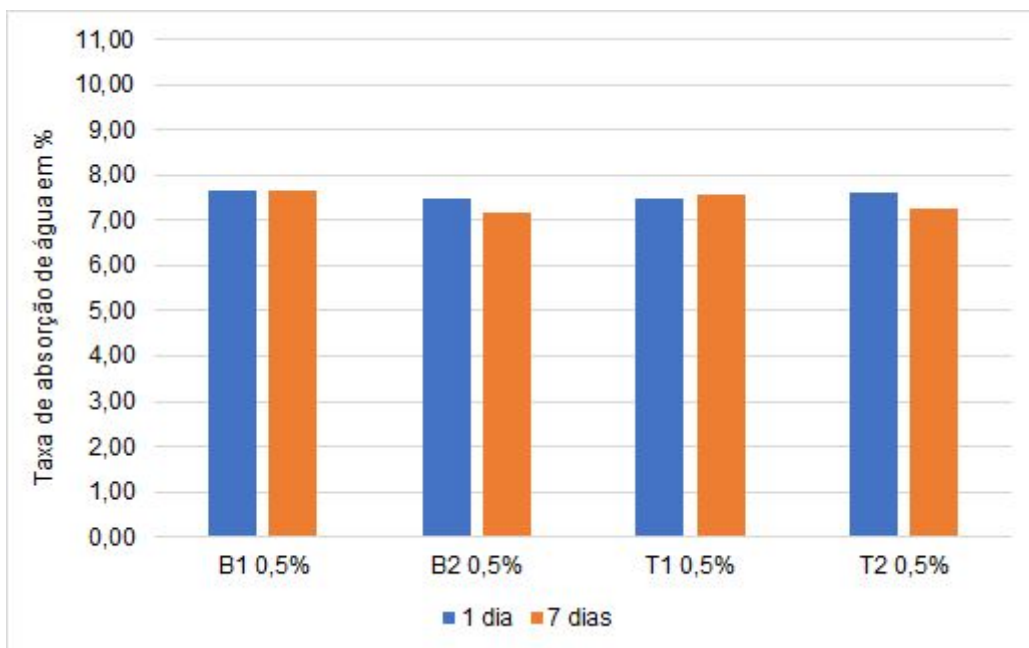
Através da realização do ensaio de absorção de água foi possível medir a porosidade do material, seguindo todos os parâmetros da NBR 15306-6 (ABNT, 2005). Para uma melhor compreensão os resultados serão exibidos separados por cada teor de fibra utilizado, onde em cada placa retirou-se 4 amostras (2 na posição vertical e 2 na posição horizontal). Com essas amostras foi realizado o ensaio de absorção de água, com duas leituras efetuadas, a primeira com 24 horas e a segunda aos 7 dias. De acordo com GRCA (2015), os valores inferiores a 13% são considerados como uma ótima taxa de absorção de água e o valor de 8% foi o menor já encontrado na realização desse ensaio. Estes dados servirão de parâmetro

aos resultados adquiridos nesse estudo. Os resultados serão descritos separadamente por cada tipo de fibra utilizada, com o intuito de facilitar a visualização deles.

4.1.1 Fibra de aço

O Gráfico 2 demonstra a absorção de água de cada amostra retirada da placa com 0,5% de fibras de aço. Pode-se notar que em ambas as leituras os resultados encontram-se em um valor abaixo da porcentagem considerada como ótimo pelo GRCA (2015), que é de 13%. Outro dado importante é de que todos os resultados estão inferiores aos menores resultados encontrados no ensaio das placas de absorção de água. Com isso, o resultado pode ser considerado como extremamente positivo. A placa de 0,5% de fibras de aço obteve uma média de 7,56% na leitura com 24 horas e 7,42% aos 7 dias.

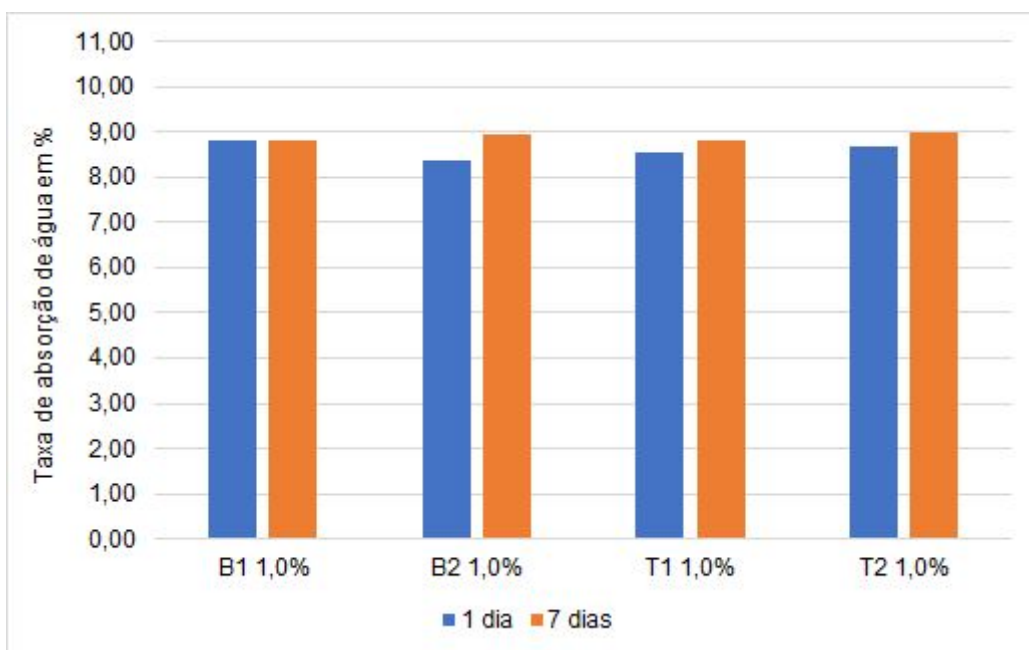
Gráfico 2 – Absorção de água da placa com 0,5% de fibra de aço



Fonte: Autor (2020).

O Gráfico 3 nos traz a absorção de água de cada amostra retirada da placa com 1,0% de fibras de aço. Visualiza-se que em ambas as leituras os resultados encontram-se em um valor inferior a 13%, considerado como ótimo. A placa de 1,0% de fibras de aço obteve uma média de 8,61% na leitura com 24 horas e 8,87% aos 7 dias. Obteve um pequeno aumento das médias ao compararmos com a taxa de absorção de água da placa com adição de 0,5% de fibras de aço.

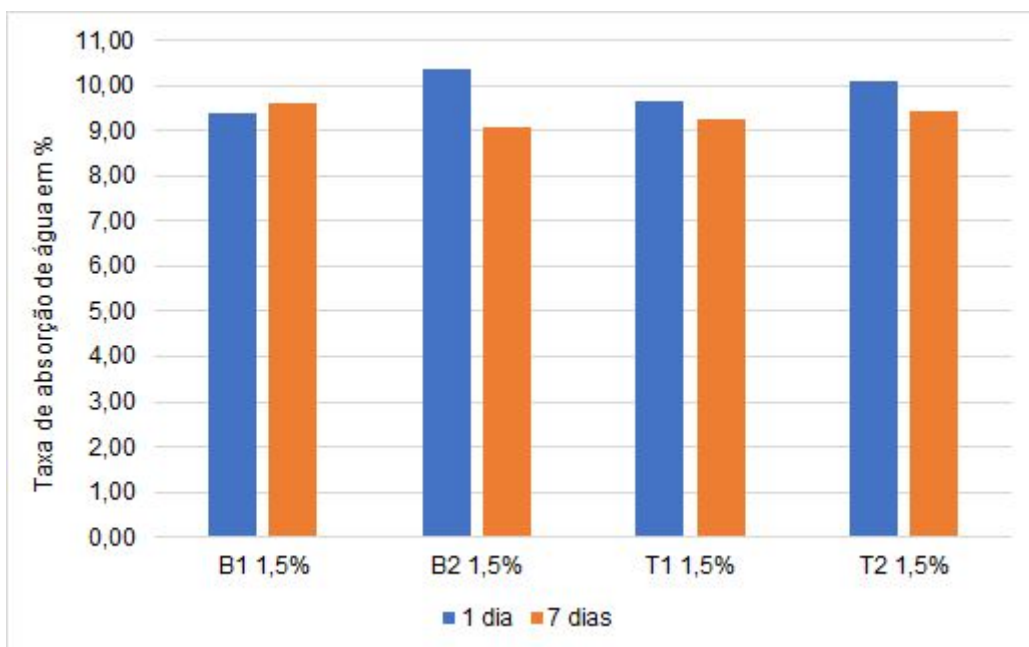
Gráfico 3 – Absorção de água da placa com 1,0% de fibra de aço



Fonte: Autor (2020).

Observa-se, no Gráfico 4, que os dados obtidos para a absorção de água para a placa com 1,5% de fibras de aço também obtiveram resultados abaixo de 13%, sendo classificados como ótimos. A placa de 1,5% de fibras de aço obteve uma média de 9,87% na leitura com 24 horas e 9,36% aos 7 dias. Verifica-se que os valores são superiores ao compararmos com as placas de 0,5% e 1,0% de fibras de aço, que pode ser justificado em função do aumento dos teores, absorvendo uma quantidade maior de água.

Gráfico 4 – Absorção de água da placa com 1,5% de fibra de aço



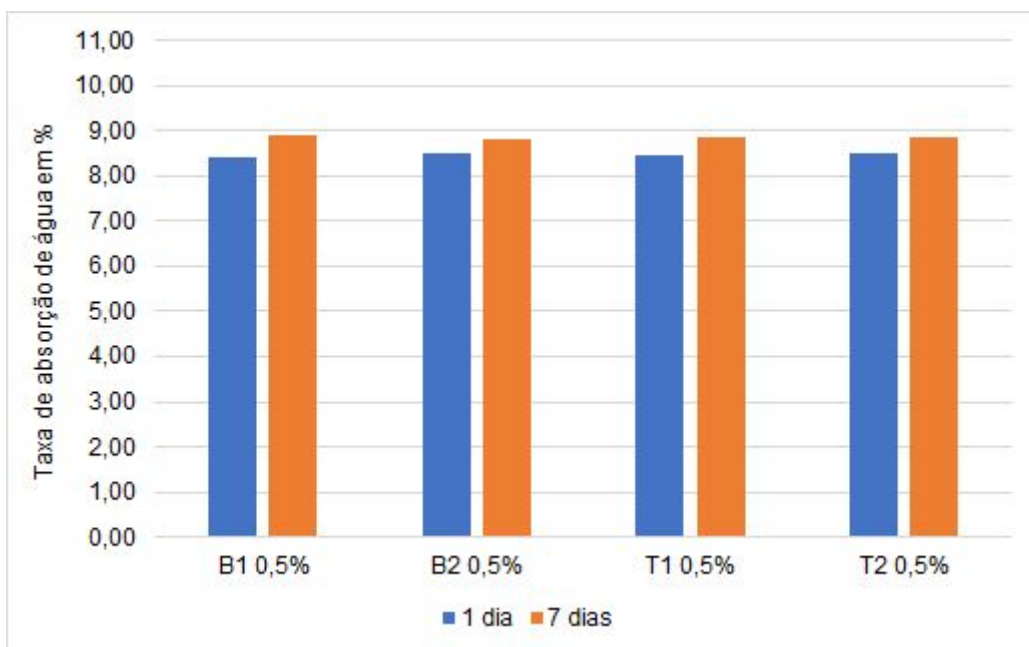
Fonte: Autor (2020).

Após a descrição dos resultados dos três teores utilizados (0,5%, 1,0% e 1,5%) nas placas com a adição de fibras de aço, verifica-se que todas as médias (7,42%; 8,87%; 9,36%) estão dentro do parâmetro de aceitação do ensaio considerado pelo GRCA (2015), que são valores inferiores a 13%. Temos ainda o valor de 7,42% que obteve um desempenho abaixo de 8%, que é o menor valor encontrado no ensaio de absorção de água. Portanto, caracterizam-se esses resultados como ótimos. Verifica-se um aumento da absorção conforme o aumento do teor de fibras.

4.1.2 Fibra de polipropileno

No Gráfico 5, pode-se notar que as taxas de absorção de água para as placas de 0,5% de fibras de polipropileno permaneceram abaixo de 13%, valor considerado ótimo pelo GRCA (2015), em ambas as análises. Portanto, caracterizam-se os valores obtidos como ótimos. No ensaio de 24 horas obteve-se uma média de 8,47% e no ensaio de 7 dias uma média de 8,86% para a taxa de absorção de água na placa de 0,5% de fibras de polipropileno.

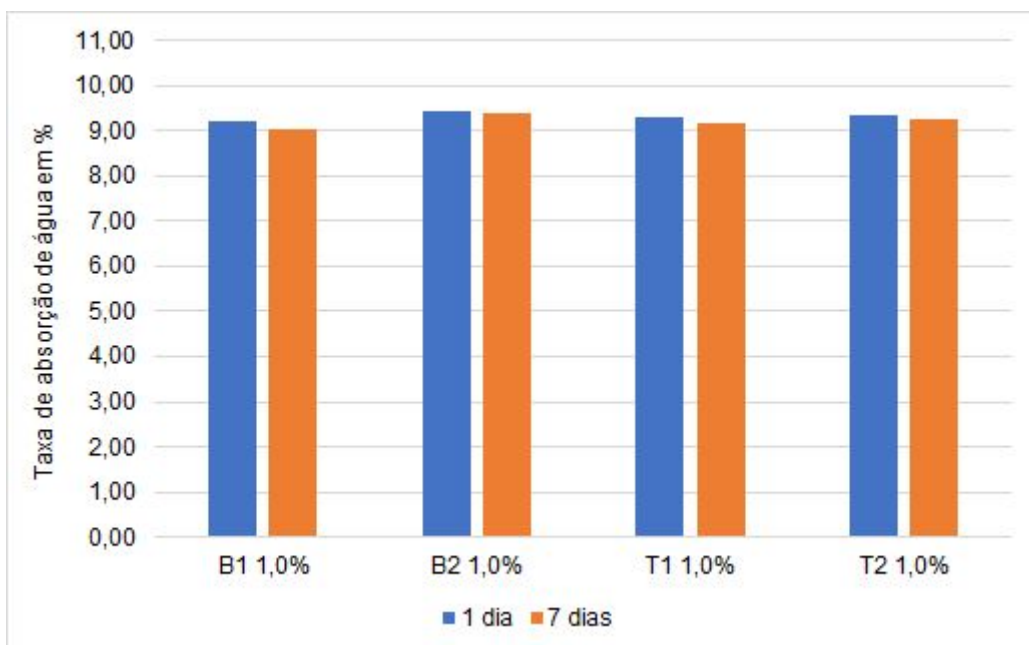
Gráfico 5 – Absorção de água da placa com 0,5% de fibra de polipropileno



Fonte: Autor (2020).

O Gráfico 6 demonstra as taxas de absorção de água para as placas de 1,0% de fibras de polipropileno.

Gráfico 6 – Absorção de água da placa com 1,0% de fibra de polipropileno

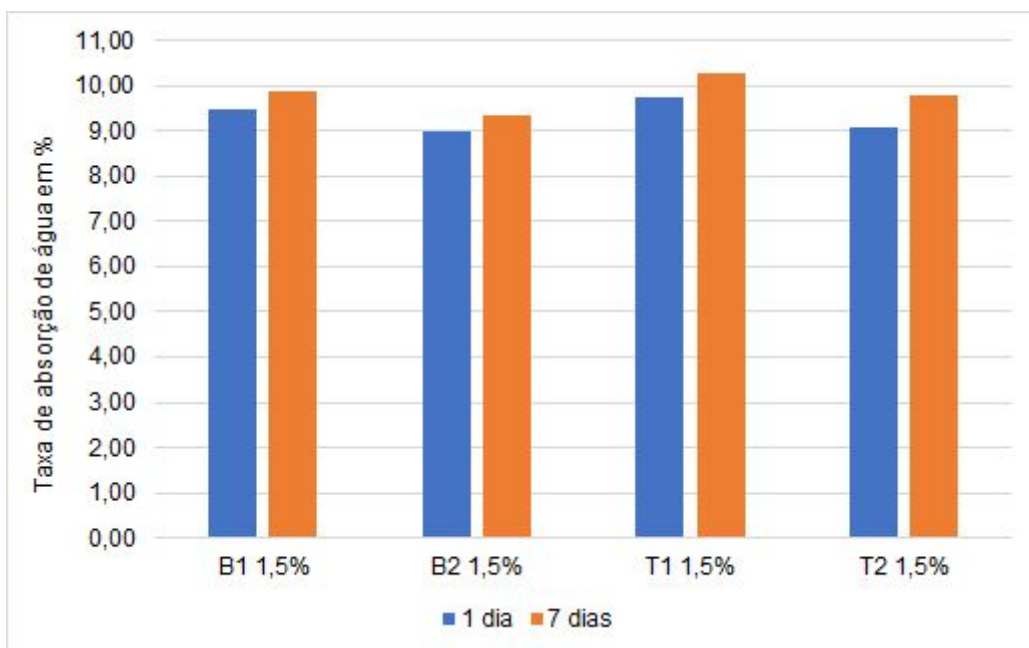


Fonte: Autor (2020).

Com os dados obtidos das amostras da placa com 1,0% de fibras de polipropileno, nota-se que todos os valores encontram-se abaixo de 13%, em ambas as análises. Portanto, caracterizam-se os valores obtidos como ótimos. No ensaio de 24 horas obteve-se uma média de 9,32% e no ensaio de 7 dias uma média de 9,22% para a taxa de absorção de água da placa de 1,0% de fibras de polipropileno. Os valores tiveram um leve ganho em comparação a placa com 0,5% do mesmo teor.

Observa-se, no Gráfico 7, que as taxas de absorção de água para as placas de 1,5% de fibras de polipropileno também obtiveram resultados abaixo de 13%, ou seja, caracterizados como ótimos. No ensaio de 24 horas obteve-se uma média de 9,28% e no ensaio de 7 dias uma média de 9,82% para a taxa de absorção de água da placa de 1,5% de fibras de polipropileno. Em função do aumento do teor da fibra, esses resultados apresentam um ganho ao ser comparado com os teores de 0,5% e 1,0% da fibra de polipropileno.

Gráfico 7 – Absorção de água da placa com 1,5% de fibra de polipropileno



Fonte: Autor (2020).

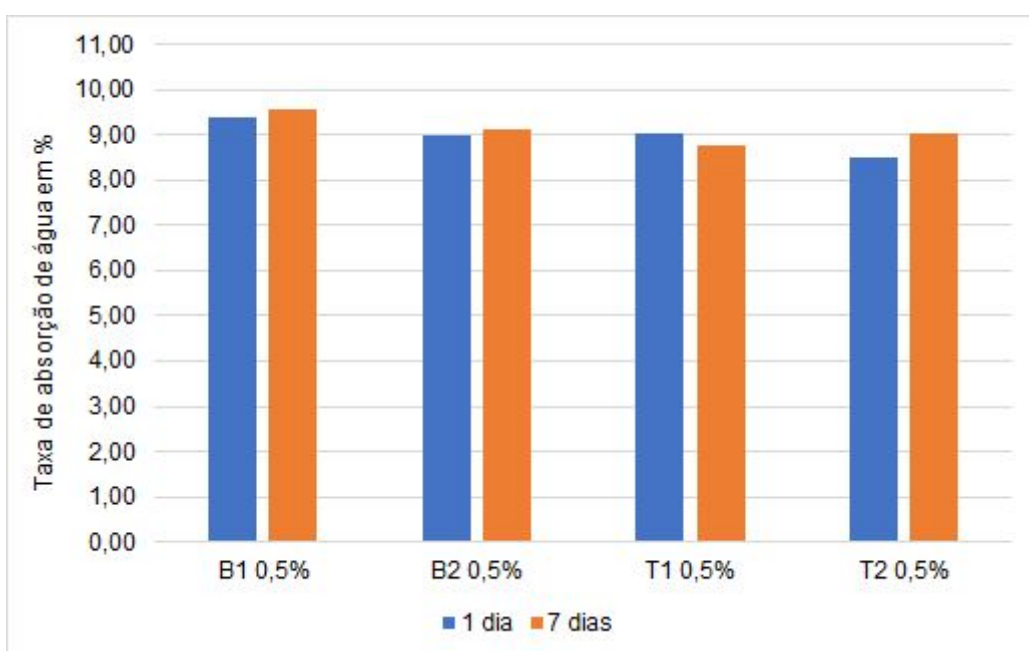
As médias (8,86%; 9,22%; 9,28%) dos três teores utilizados (0,5%, 1,0% e 1,5%) nas placas que possuem as fibras de polipropileno encontram-se dentro do critério do ensaio considerado pelo GRCA (2015), que são valores inferiores a 13%.

Portanto, caracterizam-se esses resultados como ótimos. Verifica-se um aumento da absorção conforme o aumento do teor de fibras.

4.1.3 Fibra de vidro

O Gráfico 8 nos traz os dados obtidos para a absorção de água para a placa com 0,5% de fibras de vidro. Em ambas as leituras os resultados encontram-se abaixo da porcentagem aceitável considerada pelo GRCA (2015), que é de 13%. Então, caracterizam-se os resultados como ótimos. O valor médio para essa placa que possui 0,5% de fibras de vidro foi de 9,01% nas 24 horas e 9,09% nos 7 dias.

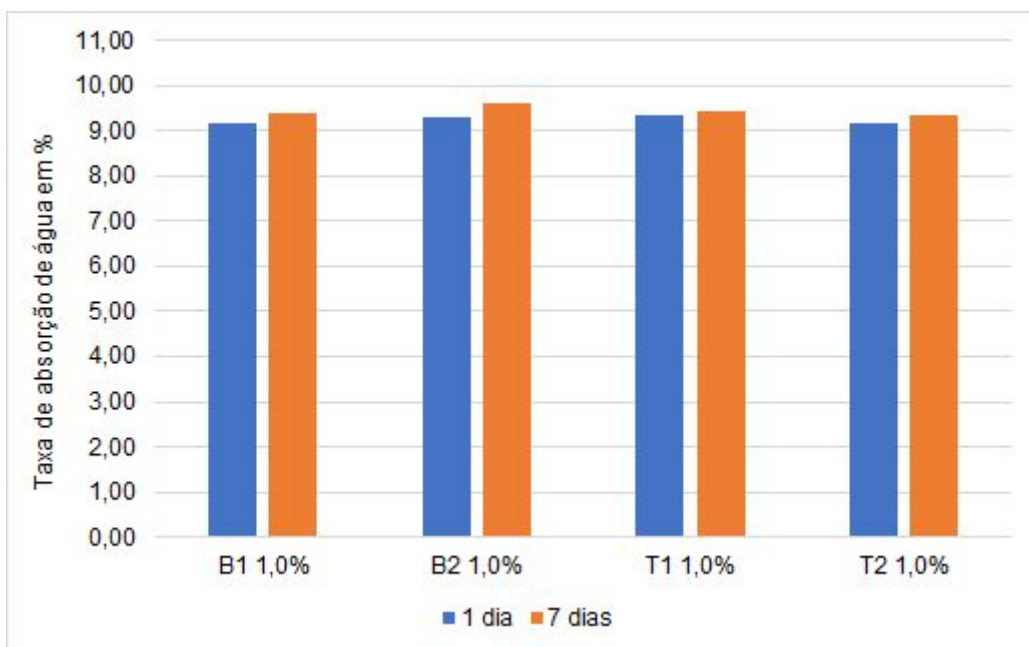
Gráfico 8 – Absorção de água da placa com 0,5% de fibra de vidro



Fonte: Autor (2020).

No Gráfico 9, nota-se que as taxas de absorção de água para a placa com 1,0% de fibras de vidro também obtiveram resultados ótimos, ou seja, abaixo de 13%. O valor médio para essa placa que possui 1,0% de fibras de vidro foi de 9,25% nas 24 horas e 9,42% nos 7 dias. Os resultados apresentaram um leve aumento em comparação com a placa com adição de 0,5% de fibras de vidro.

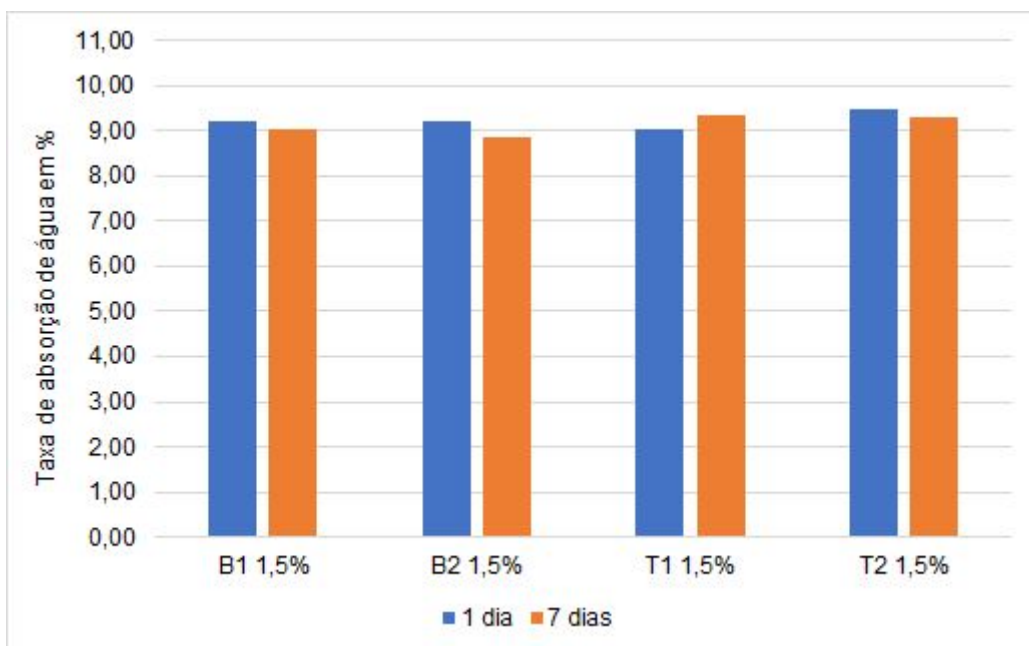
Gráfico 9 – Absorção de água da placa com 1,0% de fibra de vidro



Fonte: Autor (2020).

O Gráfico 10 apresenta a absorção de água para a placa com 1,5% de fibras de vidro.

Gráfico 10 – Absorção de água da placa com 1,5% de fibra de vidro



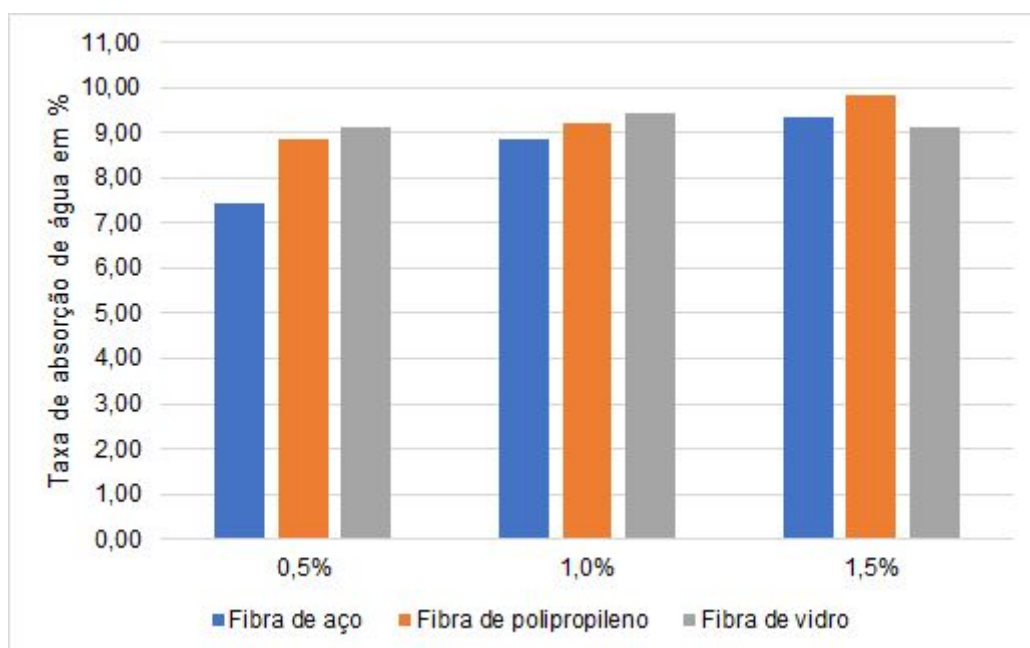
Fonte: Autor (2020).

Nota-se que os resultados da placa com 1,5% de fibras de vidro também seguiram os parâmetros do GRCA (2015), estando em um valor inferior a 13% e sendo considerados como ótimos. O valor médio para essa placa que contém 1,5% de fibras de vidro foi de 9,20% nas 24 horas e 9,17% nos 7 dias. Ao contrário dos outros resultados, esse teor apresentou uma queda de valor em comparação à placa com 1,0% de fibras de vidro, mas que teve valor superior em relação a placa de 0,5% de fibras de vidro.

Todas as médias encontradas (9,09%; 9,42%; 9,17%) dos teores utilizados (0,5%, 1,0%, 1,5%) nas placas contendo a fibra de vidro apresentam resultados dentro do parâmetro exigido pelo GRCA (2015), onde as amostras devem apresentar valores inferiores a 13%. Assim, pode-se classificar esses valores como ótimos.

Visualiza-se que, no Gráfico 11, ocorreu maior absorção de água aos 7 dias com o aumento do teor de fibras nos 9 traços, exceto no teor com 1,5% de fibras de vidro, onde houve uma pequena perda de valor.

Gráfico 11 – Valor médio de absorção de água dos 9 traços aos 7 dias



Fonte: Autor (2020).

A Tabela 6 nos mostra a variância para a absorção de água aos 7 dias, que trata da amplitude das amostras, quer dizer, o quanto os testemunhos estão distantes do valor médio calculado. Adotando um nível de significância de 5% ($\Delta=0,05$) e o analisarmos com o Valor-P, percebe-se que há diferença significativa entre os grupos. Diante disso, realiza-se o teste de Tukey para analisar essa diferença.

Tabela 6 - Variância ANOVA da absorção de água aos 7 dias

Fonte	GL	SQ (Aj.)	QM (Aj.)	Valor F	Valor-P
Fibra	2	4,097	2,048	11,190	0,00022
Teor fibra	2	6,061	3,030	16,550	0,00001
Erro	31	5,675	0,183		
Falta de ajuste	4	4,277	1,069	20,640	0,00000
Erro puro	27	1,399	0,051	*	*
Total	35	15,833			

Fonte: adaptado de Minitab (2020).

Através do teste de Tukey, visto na Tabela 7, afirma-se que existe uma diferença significativa entre o grupo de fibra de aço com os demais grupos.

Tabela 7 - Teste Tukey da absorção de água aos 7 dias em relação ao tipo de fibra

Fibra	N	Média	Agrupamento
Polipropileno	12	9,294	A
Vidro	12	9,237	A
Aço	12	8,552	B

Fonte: adaptado de Minitab (2020).

Na Tabela 8, visualiza-se através do teste de Tukey, que existe uma diferença significativa entre o teor de 0,50% em relação aos demais teores utilizados.

Tabela 8 - Teste Tukey da absorção de água aos 7 dias em relação ao teor de fibra

Teor	N	Média	Agrupamento
1,50%	12	9,436	A
1,00%	12	9,182	A
0,50%	12	8,467	B

Fonte: adaptado de Minitab (2020).

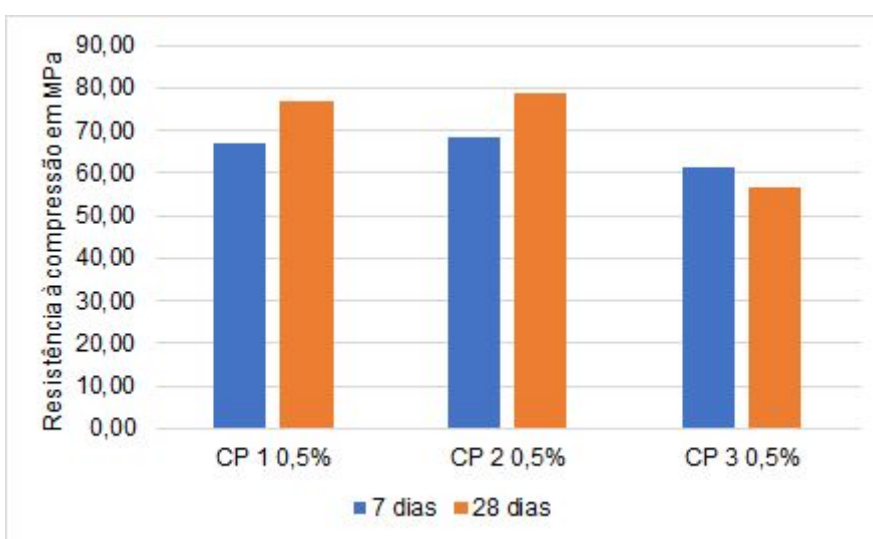
4.2 Ensaio de compressão

Os parâmetros utilizados no ensaio de resistência à compressão seguiram as exigências da NBR 5739 (ABNT, 2018), onde para cada traço foram moldados seis corpos de prova, para a realização do ensaio aos 7 e aos 28 dias de idade. Conforme GRCA (2015), são considerados valores aceitáveis aqueles que possuírem uma resistência à compressão entre 40 MPa e 80 MPa, aos 28 dias de idade. Assim como no ensaio de absorção de água, inicialmente serão apresentados os valores obtidos dos corpos de prova separadamente por cada tipo de fibra e, posteriormente, uma análise das médias dos valores obtidos de cada traço realizado.

4.2.1 Fibra de aço

O Gráfico 12 nos mostra o resultado das resistências à compressão aos 7 dias e aos 28 dias, que foram obtidas com o rompimento dos corpos de prova do traço com 0,5% de fibras de aço.

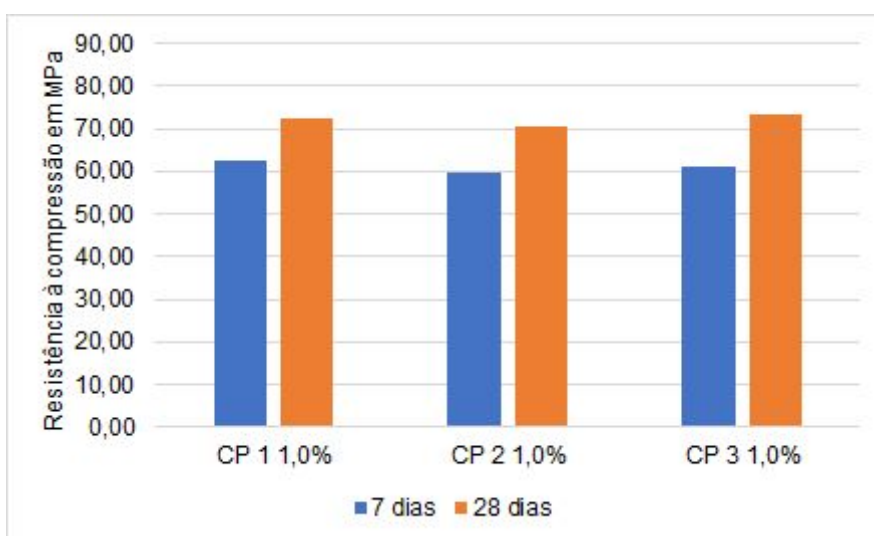
Gráfico 12 – Compressão axial do traço com 0,5% de fibra de aço



Fonte: Autor (2020).

A média calculada para a resistência à compressão do traço com 0,5% de fibras de vidro foi de 65,71 MPa para os 7 dias de idade e 77,77 MPa para os 28 dias de idade, onde o valor do CP 3 da idade de 28 dias foi desconsiderado do cálculo por se tratar de um erro experimental, visto que a diferença era maior que 2 desvios padrão em relação a média. O valor aos 28 dias é considerado como um resultado dentro do esperado, pois o GRCA (2015) estima valores entre 40 MPa e 80 MPa.

No Gráfico 13, pode-se notar os resultados da resistência à compressão aos 7 dias e aos 28 dias dos corpos de prova do traço com 1,0% de fibras de aço. Gráfico 13 – Compressão axial do traço com 1,0% de fibra de aço



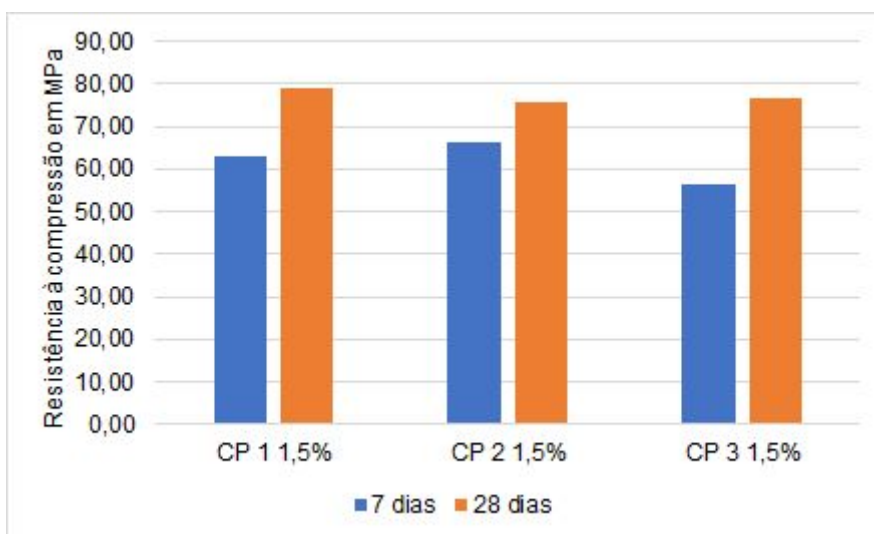
Fonte: Autor (2020).

A média obtida para a resistência à compressão do traço com 1,0% de fibras de aço resultou em um valor de 61,12 MPa aos 7 dias e 72,33 MPa aos 28 dias. Os dois valores tiveram uma pequena queda de valores ao compararmos com o traço de 0,5% de fibras de aço. Sendo assim, o valor aos 28 dias pode ser considerado como aceitável, ou seja, está entre 40 MPa e 80 MPa.

Visualiza-se, no Gráfico 14, os resultados da resistência à compressão aos 7 dias e aos 28 dias, que se trata dos corpos de prova do traço com 1,5% de fibras de aço. A média calculada para a resistência à compressão do traço foi de 61,91 MPa aos 7 dias e 77,09 MPa aos 28 dias. Os dois valores tiveram um pequeno aumento ao compararmos com o traço de 1,0% de fibras de aço. Então, caracteriza-se o valor

aos 28 dias como aceitável, por estar entre 40 MPa e 80 MPa, conforme GRCA (2015).

Gráfico 14 – Compressão axial do traço com 1,5% de fibra de aço



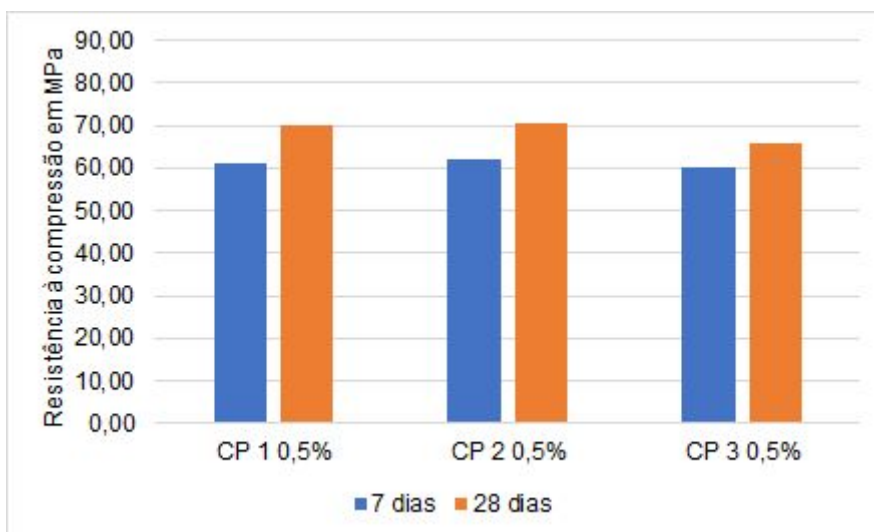
Fonte: Autor (2020).

As resistências à compressão obtidas aos 28 dias de idade (77,77 MPa; 72,33 MPa; 77,09 MPa) dos respectivos teores utilizados (0,5%, 1,0%, 1,5%) das placas com adição de fibras de aço podem ser caracterizadas como dentro dos parâmetros de aceitação, ou seja, estando entre 40 MPa e 80 MPa, conforme GRCA (2015). Ainda, os valores se aproximaram do valor máximo considerado por esse parâmetro.

4.2.2 Fibra de polipropileno

O Gráfico 15 nos traz a resistência à compressão aos 7 dias e aos 28 dias do traço com 0,5% de fibras de polipropileno. Obteve-se um valor de 61,20 MPa aos 7 dias e 68,84 MPa aos 28 dias para a média da resistência à compressão. Considera-se a média aos 28 dias como aceitável, pelo fato de o GRCA (2015) estimar valores entre 40 MPa e 80 MPa.

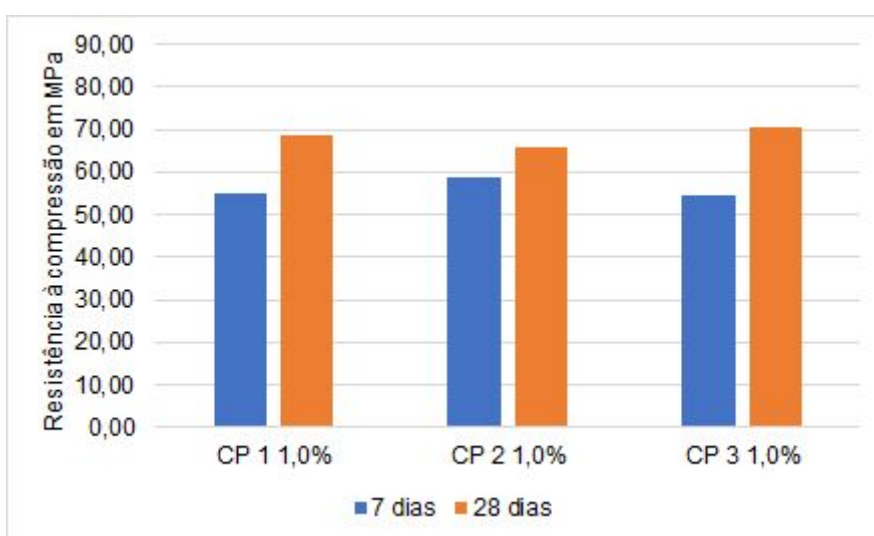
Gráfico 15 – Compressão axial do traço com 0,5% de fibra de polipropileno



Fonte: Autor (2020).

No Gráfico 16, pode-se notar os valores obtidos na resistência à compressão aos 7 dias e aos 28 dias do traço com 1,0% de fibras de polipropileno. As médias resultaram em um valor de 55,02 MPa aos 7 dias e 68,40 MPa aos 28 dias para a resistência à compressão, que são menores que as médias do traço com 0,5% de fibras de polipropileno, em ambas as idades. No entanto, classifica-se o valor como aceitável, ou seja, estando entre 40 MPa e 80 MPa.

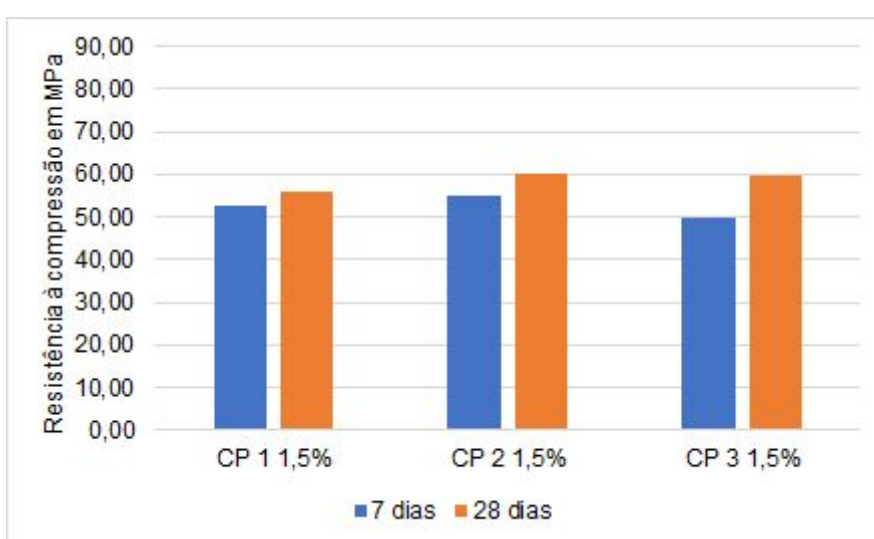
Gráfico 16 – Compressão axial do traço com 1,0% de fibra de polipropileno



Fonte: Autor (2020).

O Gráfico 17 nos traz a resistência à compressão aos 7 dias e aos 28 dias do traço com 1,5% de fibras de polipropileno. De posse dos resultados dos corpos de prova do traço, obteve-se um valor de 55,72 MPa aos 7 dias e 58,53 MPa aos 28 dias para a média da resistência à compressão do respectivo traço, que é menor que a média do traço com 1,0% de fibras de polipropileno, em ambas as idades. No entanto, considera-se a média aos 28 dias como aceitável, pelo fato de o GRCA (2015) estimar valores entre 40 MPa e 80 MPa.

Gráfico 17 – Compressão axial do traço com 1,5% de fibra de polipropileno



Fonte: Autor (2020).

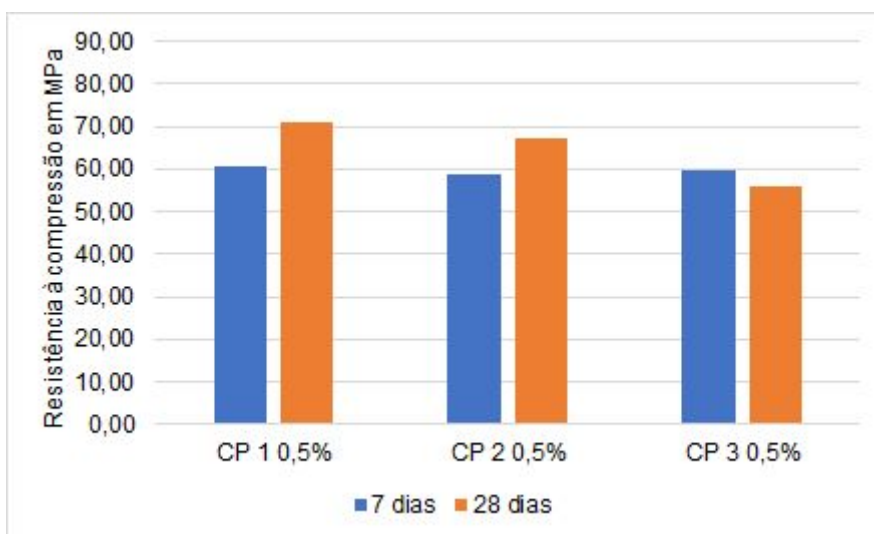
Os valores encontrados para as médias do ensaio de compressão classificam-se como atendíveis, com os dados obtidos possuindo valores entre 40 MPa e 80 MPa, seguindo as exigências do GRCA (2015). Os resultados encontrados para as médias (68,84 MPa; 68,40 MPa; 58,53 MPa) se devem aos seus respectivos teores (0,5%, 1,0%, 1,5%). Verifica-se uma diminuição da resistência à compressão conforme o aumento do teor de fibras.

4.2.3 Fibra de vidro

O Gráfico 18 ilustra a resistência à compressão dos corpos de prova do traço com 0,5% de fibras de vidro, que obteve uma média de 59,62 MPa aos 7 dias e

69,22 MPa aos 28 dias. A média dos 28 dias encontra-se nos valores estimados pelo GRCA (2015), entre 40 MPa e 80 MPa.

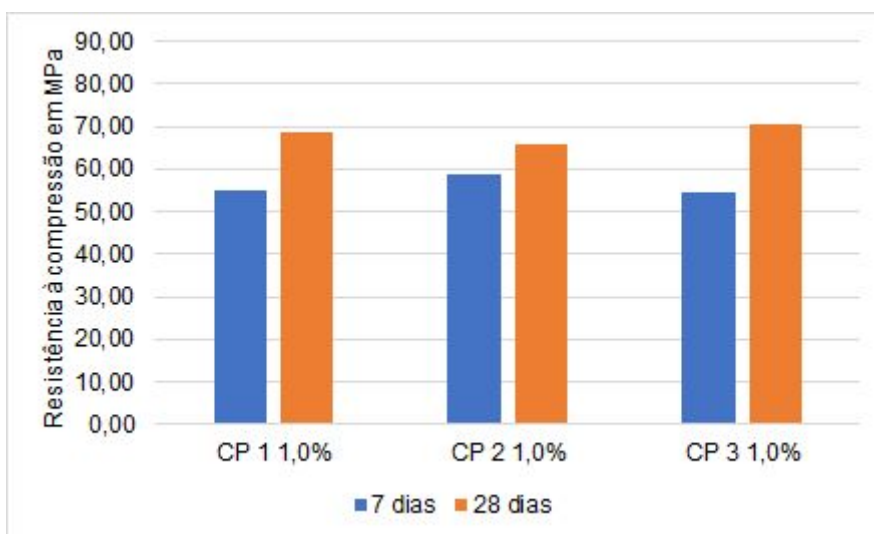
Gráfico 18 – Compressão axial do traço com 0,5% de fibra de vidro



Fonte: Autor (2020).

Nota-se, no Gráfico 19, os dados da resistência à compressão dos corpos de prova do traço com 1,0% de fibras de vidro, que obteve uma média de 57,97 MPa aos 7 dias e 65,97 MPa aos 28 dias para o traço, valores inferiores ao do traço com 0,5% de fibras de vidro, nas duas idades. Porém, a média dos 28 dias encontra-se dentro dos valores estimados pelo GRCA (2015), que é entre 40 MPa e 80 MPa.

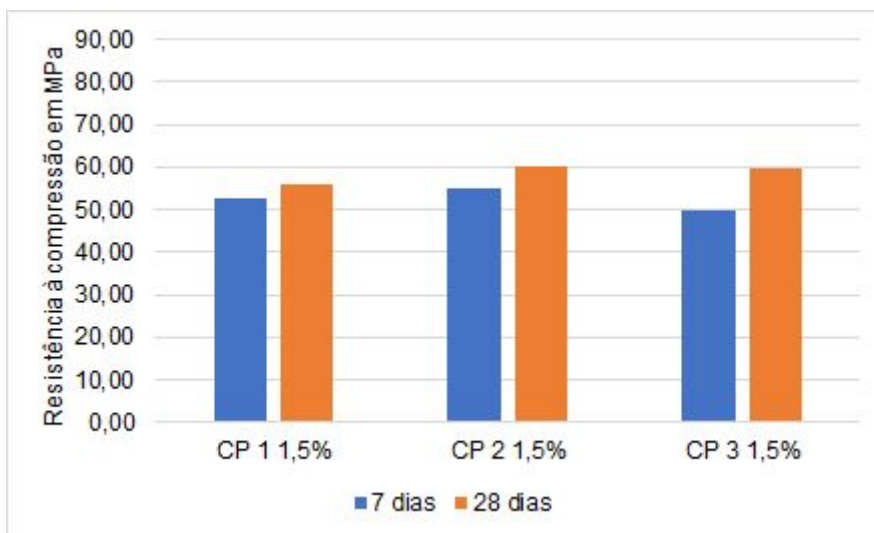
Gráfico 19 – Compressão axial do traço com 1,0% de fibra de vidro



Fonte: Autor (2020).

O Gráfico 20 ilustra a resistência à compressão dos corpos de prova do traço com 1,5% de fibras de vidro, que obteve uma média de 54,43 MPa aos 7 dias e 61,49 MPa aos 28 dias para o traço, valores inferiores ao do traço com 1,0% de fibras de vidro. A média dos 28 dias encontra-se nos valores estimados pelo GRCA (2015), ou seja, entre 40 MPa e 80 MPa.

Gráfico 20 – Compressão axial do traço com 1,5% de fibra de vidro

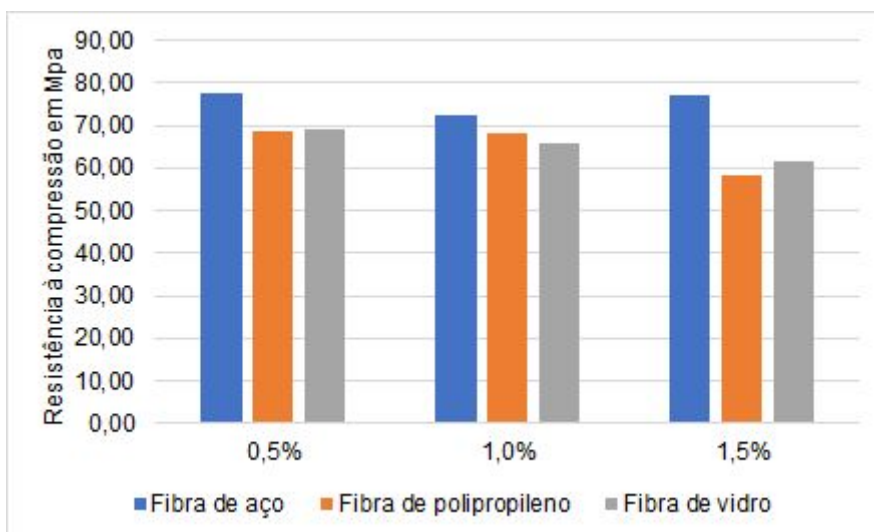


Fonte: Autor (2020).

As resistências à compressão obtidas aos 28 dias de idade (69,22 MPa; 65,97 MPa; 61,49 MPa) dos respectivos teores utilizados (0,5%, 1,0%, 1,5%) das placas com adição de fibra de vidro podem ser caracterizadas como aceitáveis, ou seja, estando entre 40 MPa e 80 MPa, de acordo com o GRCA (2015). Verifica-se uma diminuição da resistência à compressão conforme o aumento do teor de fibras.

Nota-se, no Gráfico 21, que houve decréscimo na resistência à compressão com o aumento dos teores nos traços. Somente o traço contendo 1,5% de fibras de aço obteve um ganho de resistência em relação ao traço de 1,0% de fibras de aço. No entanto, todos os 9 traços atendem ao esperado, alguns deles possuindo resultados bem próximos da resistência máxima estimada pelo GRCA (2015), que é de 80 MPa aos 28 dias de idade.

Gráfico 21 – Valor médio das resistências à compressão axial dos 9 traços



Fonte: Autor (2020).

Os resultados do ensaio de compressão axial aos 28 dias, considerados os mais relevantes de acordo com GRCA (2015), também foram submetidos à análise de variância ANOVA, que pode ser visto na Tabela 9.

Tabela 9 - Variância ANOVA da compressão axial aos 28 dias

Fonte	GL	SQ (Aj.)	QM (Aj.)	Valor F	Valor-P
Fibra	2	534,99	267,500	7,150	0,004
Teor fibra	2	93,37	46,680	1,250	0,307
Erro	22	822,82	37,400		
Falta de ajuste	4	280,95	70,240	2,330	0,095
Erro puro	18	541,87	30,100	*	*
Total	26	1451,18			

Fonte: adaptado de Minitab (2020).

Nota-se, na Tabela 9, que há diferença significativa entre os tipos de fibra utilizados, pelo fato de o nível de significância de 5% ($\alpha=0,05$) ser superior ao Valor-P calculado. Logo, deve-se fazer a análise dessa diferença utilizando o teste de Tukey, ilustrado na Tabela 10.

Tabela 10 - Teste Tukey para compressão axial aos 28 dias em relação ao tipo de fibra

Fibra	N	Média	Agrupamento
Aço	9	73,37	A
Polipropileno	9	65,26	B
Vidro	9	63,00	B

Fonte: adaptado de Minitab (2020).

Pelo teste de Tukey, afirma-se que há uma diferença significativa do grupo de fibra de aço ao ser comparado com os demais tipos de fibra utilizados, enquanto que os tipos de polipropileno e vidro são semelhantes. O traço com fibra de aço apresenta maior resistência à compressão que as demais fibras.

4.3 Ensaio de flexão

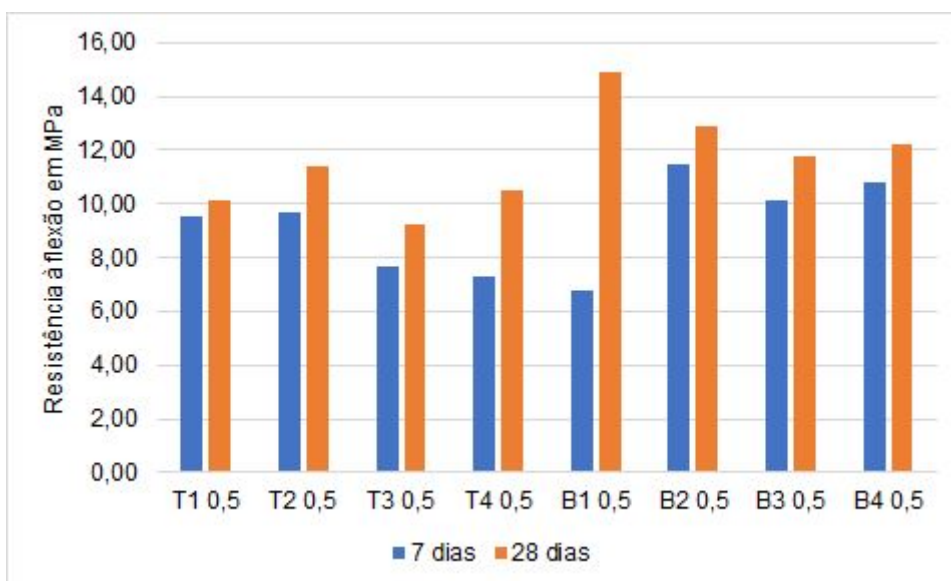
Seguindo os parâmetros da normativa NBR 15306-5 (ABNT, 2005), realizaram-se os procedimentos para a realização do ensaio de resistência à flexão das placas fabricadas. Diante disso, foram extraídas 8 amostras (4 na vertical e 4 na horizontal) e com as mesmas procedeu-se o ensaio de flexão, onde cada amostra foi identificado conforme a nomenclatura indicada pela mesma normativa. Assim como no ensaio de absorção de água e resistência à compressão, primeiramente serão descritos os dados obtidos de cada amostra da placa separados por seu respectivo traço e tipo de fibra. Posterior a isso, serão realizadas as análises das médias dos resultados de cada traço que foi realizado.

4.3.1 Fibra de aço

O Gráfico 22 mostra o resultado das resistências à flexão aos 7 dias e 28 dias obtidas com a realização do ensaio das amostras das placas com 0,5% de fibras de aço. As médias encontradas para a resistência à flexão foram de 9,18 MPa aos 7

dias e 11,63 MPa aos 28 dias, apresentando resultados positivos em comparação com o que foi estimado na metodologia.

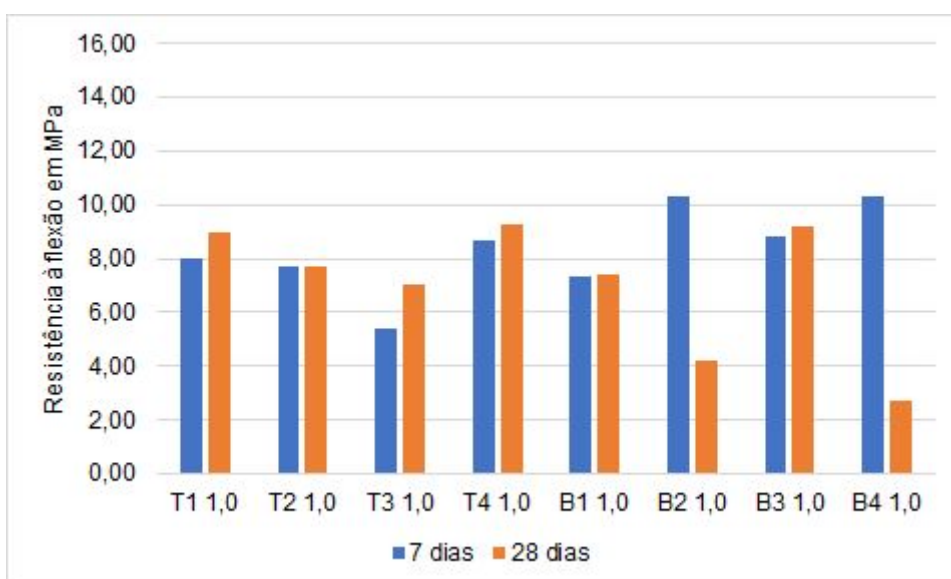
Gráfico 22 – Resistência à flexão aos 7 e 28 dias da placa com 0,5% de fibra de aço



Fonte: Autor (2020).

O Gráfico 23 ilustra a resistência à flexão aos 7 dias e aos 28 dias das amostras das placas com adição de 1,0% de fibras de aço.

Gráfico 23 – Resistência à flexão aos 7 e 28 dias da placa com 1,0% de fibra de aço

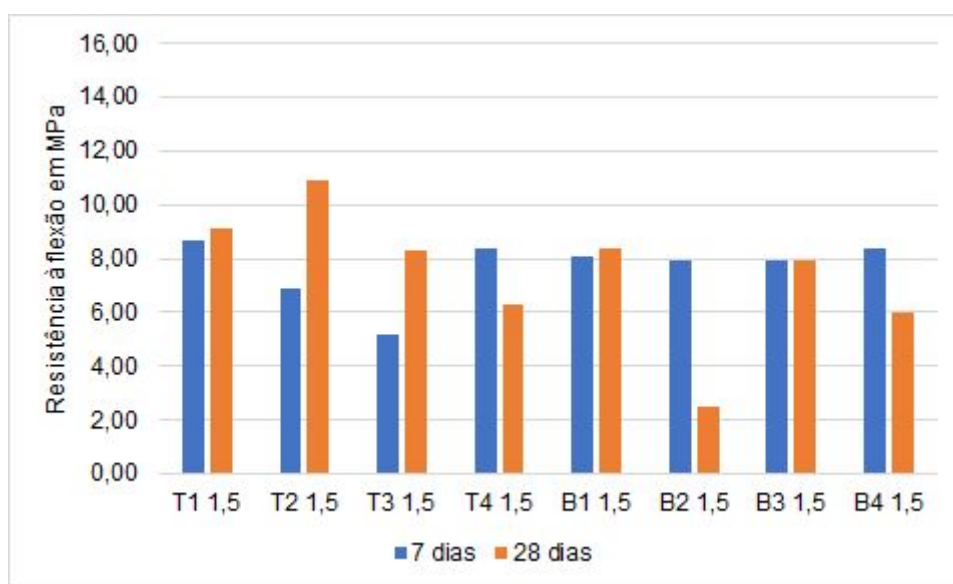


Fonte: Autor (2020).

Diante dos resultados obtidos da placa com adição de 1,0% de fibras de aço, calcularam-se as médias da resistência à flexão das amostras, alcançando valores de 8,31 MPa aos 7 dias e 8,27 MPa aos 28 dias, sendo que no cálculo de 28 dias as amostras B2 e B4 foram desconsideradas em função da diferença ser maior que 2 desvios padrão em relação a média e, conseqüentemente, trata-se de um erro experimental. As médias encontradas são menores que as médias da placa com 0,5% de fibras de aço, mas possui valores que estão aceitáveis diante do que foi indicado na metodologia.

O Gráfico 24 demonstra a resistência à flexão das amostras das placas com 1,5% de fibras de aço, que obteve uma média de 7,67 MPa aos 7 dias e 8,13 MPa aos 28 dias. No cálculo da média da placa aos 28 dias a amostra B2 foi descartada em virtude de apresentar uma diferença maior que 2 desvios padrão em relação à média, sendo considerado como um erro experimental. Os valores encontram-se inferiores ao serem comparados com os outros teores utilizados, no entanto, estão de acordo com a resistência estimada.

Gráfico 24 – Resistência à flexão aos 7 e 28 dias da placa com 1,5% de fibra de aço



Fonte: Autor (2020).

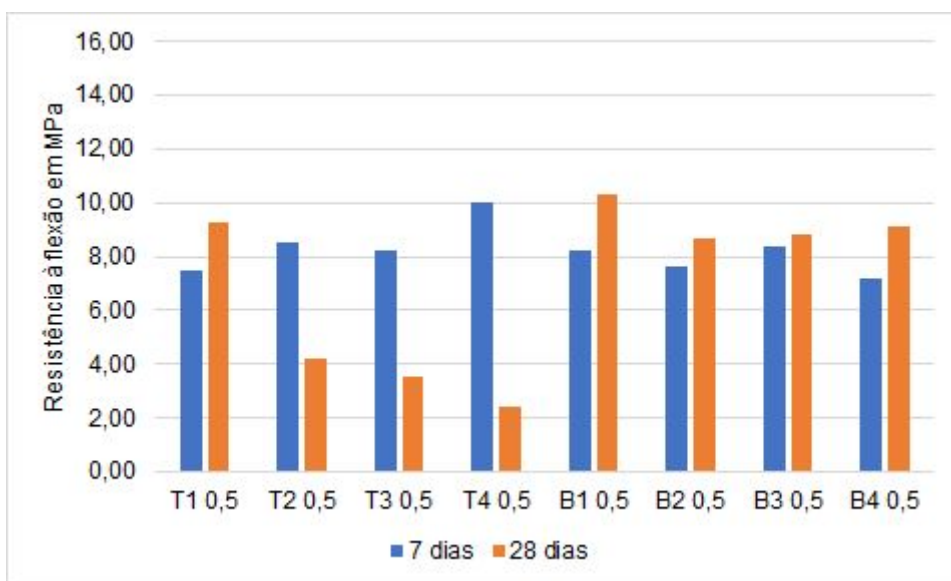
Nota-se que as médias, das resistências à flexão (11,63 MPa; 8,27 MPa; 8,13 MPa) aos 28 dias, realizadas com seus respectivos traços (0,5%, 1,0%, 1,5%)

possuem valores próximos nos três níveis. Verifica-se uma diminuição da resistência à compressão conforme o aumento do teor de fibras.

4.3.2 Fibra de polipropileno

O Gráfico 25 mostra o resultado das resistências à flexão aos 7 dias e 28 dias obtidas com a realização do ensaio das amostras das placas com 0,5% de fibras de polipropileno. As médias encontradas para a resistência à flexão foram de 8,20 MPa aos 7 dias e 9,24 MPa aos 28 dias, apresentando resultados positivos em comparação com o que foi estimado na metodologia. Para a realização do cálculo da média aos 28 dias, as amostras T2, T3 e T4 foram descartadas por apresentarem uma diferença maior que 2 desvios padrão em relação a média e, conseqüentemente, é considerado como um erro experimental. Os resultados encontram-se de acordo com o que foi estimado na metodologia.

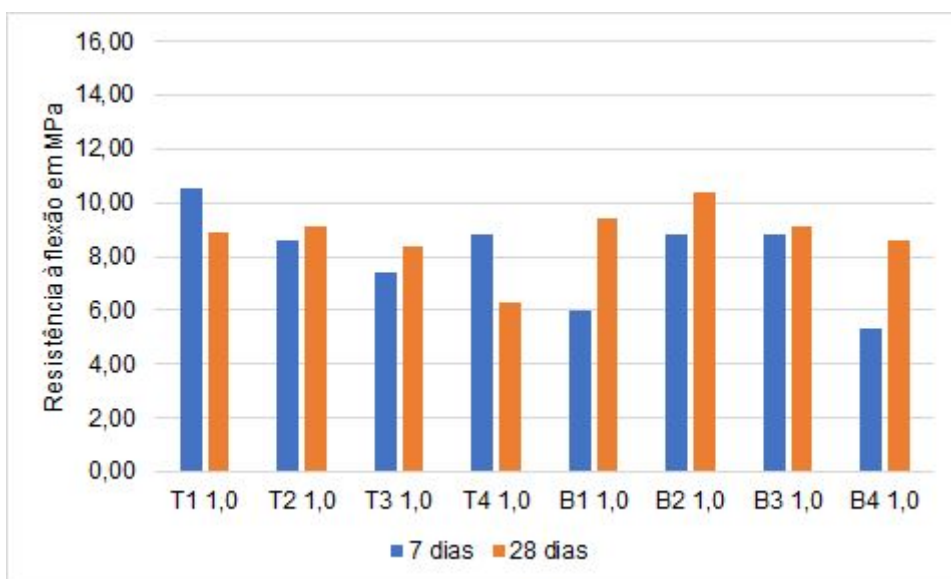
Gráfico 25 – Resistência à flexão aos 7 e 28 dias da placa com 0,5% de fibra de polipropileno



Fonte: Autor (2020).

O Gráfico 26 ilustra a resistência à flexão aos 7 dias e aos 28 dias das amostras das placas com adição de 1,0% de fibras de polipropileno.

Gráfico 26 – Resistência à flexão aos 7 e 28 dias da placa com 1,0% de fibra de polipropileno

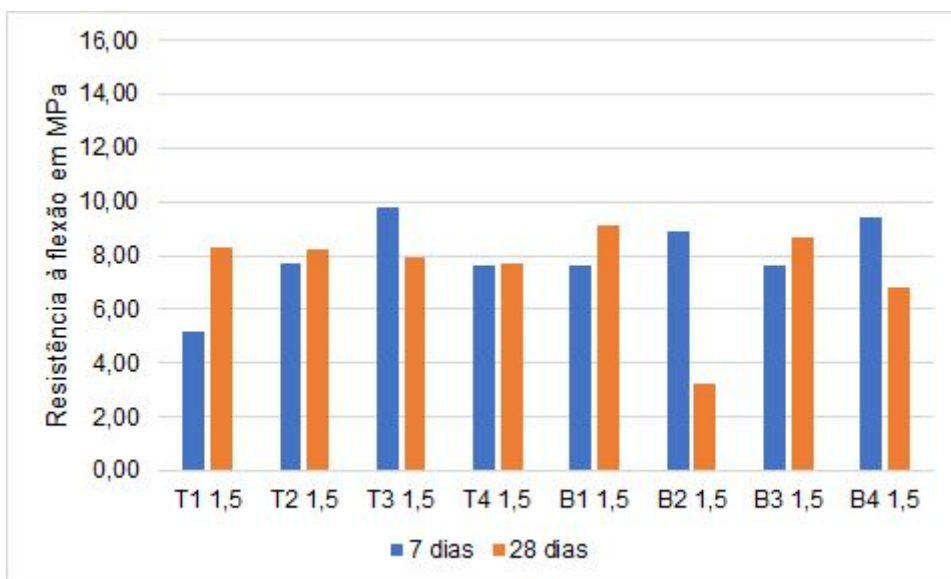


Fonte: Autor (2020).

Calcularam-se as médias da resistência à flexão das amostras com 1,0% de fibras de polipropileno, com valores de 8,03 MPa aos 7 dias e 8,78 MPa aos 28 dias.

O Gráfico 27 demonstra a resistência à flexão das amostras das placas com 1,5% de fibras de polipropileno.

Gráfico 27 – Resistência à flexão aos 7 e 28 dias da placa com 1,5% de fibra de polipropileno



Fonte: Autor (2020).

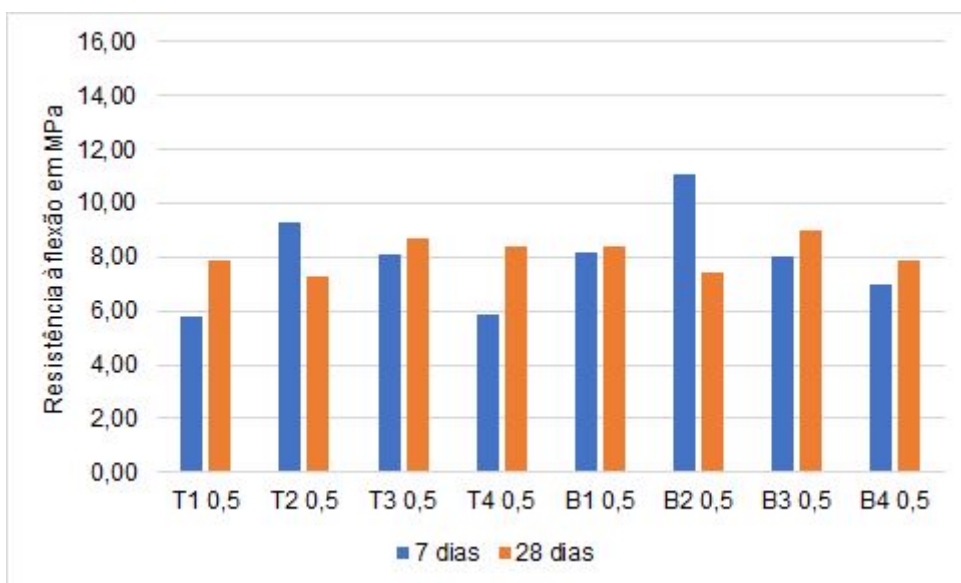
Os resultados da resistência à flexão da placa aos 7 e 28 dias obtiveram uma média de 7,98 MPa aos 7 dias e 8,13 MPa aos 28 dias. No cálculo da média da placa aos 28 dias a amostra B2 foi descartada por apresentar uma diferença maior que 2 desvios padrão em relação à média, sendo considerado como um erro experimental. Os valores encontram-se inferiores ao serem comparados com os outros teores utilizados, no entanto, estão de acordo com a resistência estimada.

Verifica-se que as médias das resistências à flexão (9,24 MPa; 8,78 MPa; 8,13 MPa) aos 28 dias, realizadas com seus respectivos traços (0,5%, 1,0%, 1,5%) possuem valores próximos nos três teores utilizados. Verifica-se uma diminuição da resistência à compressão conforme o aumento do teor de fibras.

4.3.3 Fibra de vidro

O Gráfico 28 mostra o resultado das resistências à flexão aos 7 dias e 28 dias obtidas com a realização do ensaio das amostras das placas com 0,5% de fibras de vidro, onde as médias encontradas foram de 7,93 MPa aos 7 dias e 8,12 MPa aos 28 dias, resultados ótimos em comparação com o que foi estimado na metodologia.

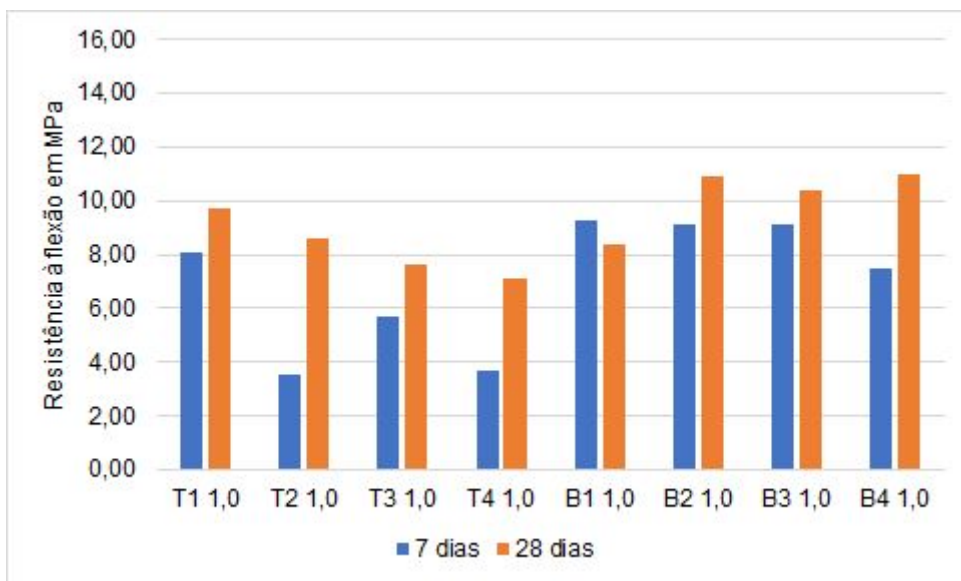
Gráfico 28 – Resistência à flexão aos 7 e 28 dias da placa com 0,5% de fibra de vidro



Fonte: Autor (2020).

O Gráfico 29 ilustra a resistência à flexão aos 7 dias e aos 28 dias das amostras das placas com adição de 1,0% de fibras de vidro.

Gráfico 29 – Resistência à flexão aos 7 e 28 dias da placa com 1,0% de fibra de vidro

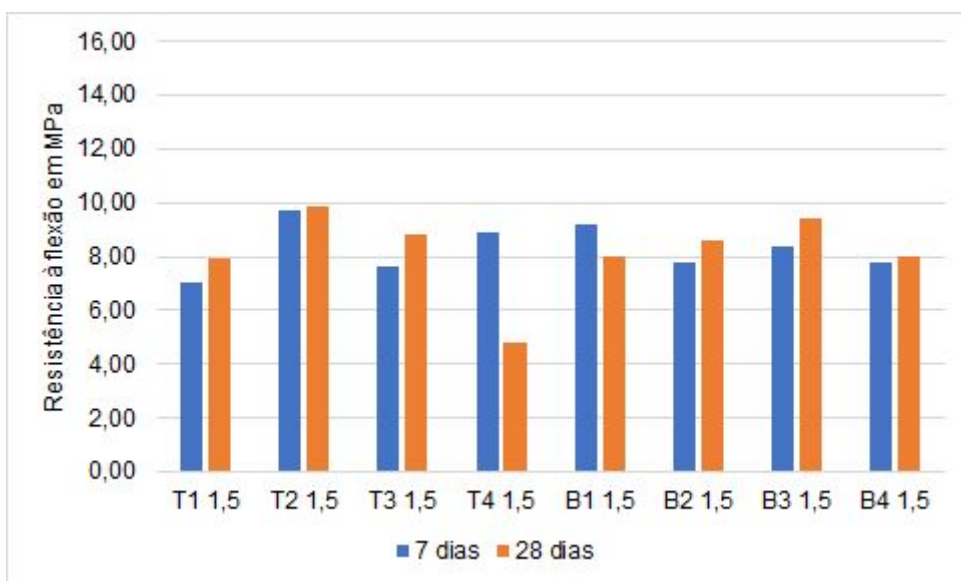


Fonte: Autor (2020).

Diante dos resultados obtidos, calcularam-se as médias da resistência à flexão das amostras com 1,0% de fibras de vidro, alcançando valores de 8,15 MPa aos 7 dias e 9,21 MPa aos 28 dias, sendo que no cálculo de 7 dias as amostras T1 e T4 foram desconsideradas em função de apresentarem valores com uma diferença maior que 2 desvios padrão em relação a média. As médias encontradas são maiores que as médias da placa com 0,5% de fibras de vidro, com valores que estão aceitáveis diante do que foi indicado na metodologia.

O Gráfico 30 demonstra a resistência à flexão das amostras das placas com 1,5% de fibras de vidro.

Gráfico 30 – Resistência à flexão aos 7 e 28 dias da placa com 1,5% de fibra de vidro



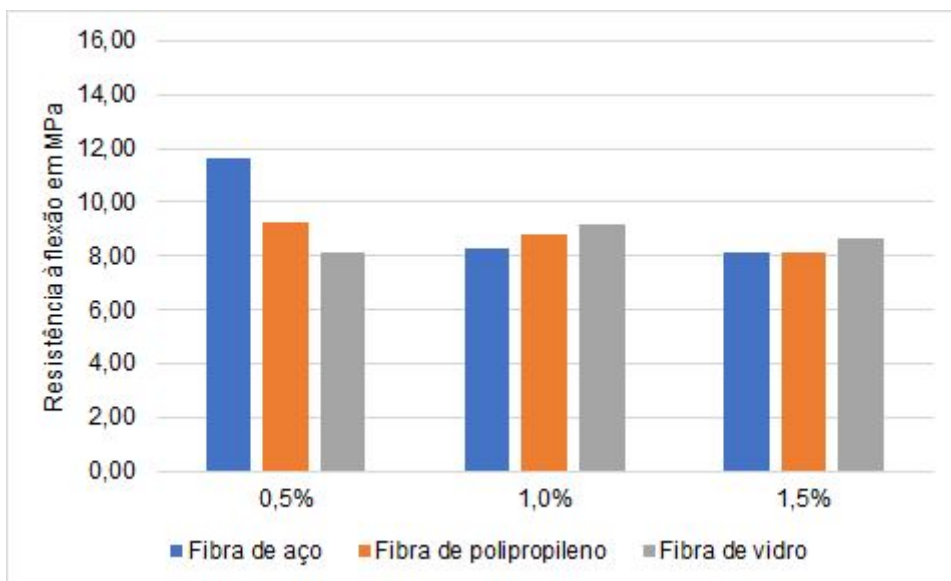
Fonte: Autor (2020).

Obteve-se uma média de 8,30 MPa aos 7 dias e 8,66 MPa aos 28 dias. No cálculo da média da placa aos 28 dias a amostra T4 foi descartada em virtude de apresentar uma diferença maior que 2 desvios padrão em relação à média, sendo considerado como um erro experimental. Os valores encontram-se inferiores ao serem comparados com o teor de 1,0% e superior ao de 0,5%, no entanto, estão de acordo com a resistência estimada.

Nota-se que as médias, das resistências à flexão (8,12 MPa; 9,21 MPa; 8,66 MPa) aos 28 dias, realizadas com seus respectivos traços (0,5%, 1,0%, 1,5%) possuem valores próximos nos três níveis.

O Gráfico 31 nos mostra o valor médio das resistências à flexão dos 9 traços obtidos aos 28 dias de idade.

Gráfico 31 – Valor médio das resistências à flexão dos 9 traços aos 28 dias



Fonte: Autor (2020).

Diante dos resultados do valor médio das resistências à flexão dos 9 traços aos 28 dias, nota-se que os valores decaíram com o aumento dos teores, onde os resultados mantiveram-se na faixa entre 8 MPa e 9 MPa, exceto o teor de 0,5% de fibras de aço que obteve um resultado mais alto em comparação com os demais teores.

Os resultados do ensaio de flexão aos 28 dias, considerados os mais relevantes de acordo com GRCA (2015), também foram submetidos à análise de variância ANOVA, que pode ser visto na Tabela 11.

Tabela 11 - Variância ANOVA do ensaio de flexão aos 28 dias

Fonte	GL	SQ (Aj.)	QM (Aj.)	Valor F	Valor-P
Fibra	2	11,72	5,861	1,1260	0,3304
Teor fibra	2	18,07	9,035	1,7357	0,1841
Erro	67	348,77	5,205		
Falta de ajuste	4	103,74	25,936	6,6687	0,0002
Erro puro	63	245,02	3,889	*	*
Total	71	378,56			

Fonte: adaptado de Minitab (2020).

É possível notar que, na análise de variância ANOVA referente aos dados do ensaio de flexão aos 28 dias, não há diferença significativa entre os grupos, visto que o nível de significância de 5% é menor que o Valor-P calculado. Diante disso, não é necessário a aplicação do teste de Tukey.

5 CONCLUSÕES

Após a descrição dos resultados no capítulo anterior, conclui-se que, para a absorção de água, os dados obtidos nessa propriedade satisfazem com os valores indicados pelo GRCA (2015) em todos os tipos e teores de fibra utilizados. Houve um pequeno aumento na absorção de água em função do aumento do teor de fibra. No entanto, todos os valores encontram-se bem abaixo do valor máximo exigido, que é de 13%.

Na propriedade mecânica da resistência à compressão axial, os resultados estimados foram alcançados em todos os tipos e teores de fibra utilizados, onde verificou-se que as fibras reduziram a resistência à compressão axial, por terem uma menor trabalhabilidade no momento da moldagem dos corpos de prova, possivelmente ocasionando uma concentração de ar na mistura. Através da análise da variância ANOVA, nessa propriedade, não foi possível verificar a influência das fibras. Na questão do tipo de fibra, a fibra de aço difere-se das demais fibras utilizadas.

Para a resistência à flexão, os resultados cumprem com o que foi estimado, mas não houve um ganho de resistência com o aumento dos teores. Assim como na resistência à compressão axial, a análise da variância ANOVA também nos mostrou que não há influência das fibras e tipos de fibras utilizados, bem como que existe similaridade nas médias calculadas.

Dessa forma, pode-se concluir que é possível a utilização das placas fabricadas com diferentes teores e tipos de fibras, onde todas as propriedades analisadas obtiveram um desempenho satisfatório. No entanto, com a análise da variância ANOVA, verificou-se que os grupos se assemelham, o que nos possibilita a utilização da fibra de menor custo e em menores teores, para um melhor aproveitamento dos materiais, visto que não há diferença significativa entre os grupos.

Para trabalhos futuros, fica como sugestão analisar a influência da cura das placas de GRC, visto que é uma propriedade muito importante para a caracterização da peça e, também, a utilização de outros tipos de fibras para analisar seu comportamento.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52**: Agregado miúdo – determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro: ABNT, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**: Agregados – determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15305**: Produtos pré-fabricados de materiais cimentícios reforçados com fibra de vidro - procedimentos para controle de fabricação. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15306-5**: Produtos pré-fabricados de materiais cimentícios reforçados com fibra de vidro - método de ensaio parte 5: medição da resistência a flexão, método de "ensaio completo de flexão". Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15306-6**: Produtos pré-fabricados de materiais cimentícios reforçados com fibra de vidro - método de ensaio parte 6: determinação da absorção da água por imersão e da massa unitária seca. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16605**: Cimento portland e outros materiais em pó – determinação da massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15530**: Fibras de aço para concreto - Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

BENTUR, A.; MINDESS, S. **Fibre Reinforced Cementitious Composites**. London and New York: Modern Concrete Technology Series, 2 ed. 2007.

DUARTE, Juliana Ferreira. **Aspetos do Dimensionamento de Painéis Pré-fabricados de Fachada em GRC do Tipo Nervurado**. 2014. 125 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Instituto Politécnico de Coimbra, Coimbra, 2014. Disponível em: <<https://comum.rcaap.pt/bitstream/10400.26/14070/1/Juliana-Duarte.pdf>>. Acesso em: 12 set. 2019.

FACCIO, Juliano Ferrari. **Fachadas pré-fabricadas em GRC**. 2004. 117 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2004. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/16553603-Fachadas-pre-fabricadas-em-grc.html>>. Acesso em: 05 set. 2019.

FERNANDES, José Luís Rodrigues. **Tratamento de Juntas em Painéis de GRC**. 2008. 112 f. Dissertação (Mestre) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Porto, Porto, 2008. Disponível em: <<https://pdfs.semanticscholar.org/af9d/da72473b95e45c314f5be66dc3acc38ab020.pdf>>. Acesso em: 10 set. 2019.

FIGUEIREDO, Antonio Domingues de. **Concreto Reforçado com Fibras**. 2011. 256 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011. Disponível em: <<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/livredocencia/3/tde-18052012-112833/publico/TeseLivredocenciaAntonioFigueiredo2011.pdf>>. Acesso em: 12 set. 2019.

FIGUEIREDO, Antonio Domingues de. **Concreto Reforçado com Fibras**. Concreto: Ciência e Tecnologia. IBRACON. Volume 2, 2011.

GARCEZ, Estela Oliari. **Análise teórico-experimental do comportamento de concretos reforçados com fibras de aço submetidos a cargas de impacto**. 2005. 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Disponível

em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/7842/000558309.pdf?sequence=1>>. Acesso em 20 set. 2019.

GUIMARÃES, João Rafael Braga. **Painéis pré-fabricados em GRC**. 2016. 80 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, 2016. Disponível em: <https://recipp.ipp.pt/bitstream/10400.22/9173/1/DM_JoaoGuimaraes_2016_MEC.pdf>. Acesso em: 10 set. 2019.

INTERNATIONAL GLASSFIBER REINFORCED CONCRETE ASSOCIATION. VERSION 1.1: **Practical Desing Guide for GRC**. Northampton: Grca, 2018. Disponível em: <<https://grca.org.uk/pdf/Practical-Design-Guide-for-GRC.pdf>>. Acesso em: 10 set. 2019.

LAMEIRAS, Rodrigo de Melo. **Contribuição ao estudo das propriedades dos materiais cimentícios reforçados com fibras de vidro (glass fibre reinforced cement – GRC)**. 2007. 255 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/15873/000692259.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 12 set. 2019.

LOUREIRO, Joana Carolina Lopes Pais. **Comportamento de painéis de fachada em GRC sujeitos a carregamento cíclicos ou monotonicamente crescentes**. 2014. 133 f. Dissertação (Mestre) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Porto, Portugal, 2014. Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/89109>>. Acesso em: 13 set. 2019.

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M.. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 2. ed. São Paulo: Ipsilon Gráfica e Editora, 2014.

MOURA, Artur; SÁ, Maria das Vitórias V.A. de. Influência da racionalização e industrialização na construção sustentável. **Revista Tecnologia & Informação**, ano 1, n.1, p. 64-77, nov. 2012 – fev. 2013.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J.J.. **Tecnologia do concreto**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

NOVAES, Marcos de Vasconcelos; MOURÃO, Carlos Alexandre Martiniano do Amaral. **Manual de gestão ambiental de resíduos sólidos da construção civil**. 2008. 100 f. Cooperativa da Construção Civil do Estado do Ceará, Fortaleza, 2008. Disponível em: <<http://www.coopercon.com.br/sitecontent/downloads/manualegestaoambiental-1pf-417706556.pdf>>. Acesso em 07 set. 2019.

OLIVEIRA, Luciana Alves de. **Metodologia para desenvolvimento de projeto de fachadas leves**. 2009. 287 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. Disponível em: <
https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-08092010-125813/publico/Tese_Luciana_Alves_de_Oliveira.pdf>. Acesso em: 11 set. 2019.

POUCA, Pedro Miguel Barbosa Vila. **Comportamento do betão reforçado com fibras de aço submetido a corte direto**. 2016. 101 f. Dissertação (Mestre) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Porto, Porto, 2016. Disponível em: <
https://sigarra.up.pt/reitoria/pt/pub_geral.show_file?pi_doc_id=58821>. Acesso em: 08 set. 2019.

RIBEIRO, Marcellus Serejo. **A industrialização como requisito para a racionalização da construção**. 2002. 37 f. Curso de Mestrado - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002. Disponível em: <
http://www.leeamb.poli.ufrj.br/Arquivos_para_Download/Dissertacao_Marcellus_Serejo_Ribeiro.pdf>. Acesso em: 05 set. 2019.

RODRIGUES, Públio Penna Firme; MONTARDO, Julio P. A Influência da Adição de Fibras de Polipropileno nas Propriedades dos Concretos para Pisos e Pavimentos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO - IBRACON, 44., 2002, Belo Horizonte. **Artigo**. 2002. Disponível em: <
<http://www.csl.com.br/home/painel/arquivos/Image/A%20INFLUENCIA%20DA%20ADICAO%20DE%20FIBRAS%20DE%20POLIPROPILENO%20NAS%20PROPRIEDADES%20DOS.pdf>>. Acesso em: 15 set. 2019.

SARTORI, João Marcos. **Estudo de viabilidade técnica de placas cimentícias para revestimento de fachadas produzidas com CPR baseadas no sistema GRC**. 2018. 84 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Vale do Taquari, Lajeado, 2018. Disponível em: <
<https://univates.br/bdu/bitstream/10737/2339/1/2018JoaoMarcosSartori.pdf>>. Acesso em: 04 set. 2019.

SILVA, Vanessa Gomes da. **Diretrizes para o Projeto de Painéis de Fachada em Cimento Reforçado com Fibras de Vidro**. 1998. 162 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998. Disponível em:
 <https://www.researchgate.net/profile/Vanessa_Silva22/publication/33766651_Diretrizes_para_o_projeto_de_paineis_de_fachada_em_cimento_reforcado_com_fibras_de_vidro/links/5604ad5808aeb5718ff012af.pdf>. Acesso em: 13 set. 2019.

SILVA, Vanessa Gomes da; JOHN, Wanderley Moacyr. **Painéis em Cimento Reforçado em Fibras de Vidro (GRC)**. 1998. Disponível em:

<http://www.pcc.usp.br/files/text/publications/BT_00228.pdf>. Acesso em: 20 set. 2019.

VEFAGO, Luiz Henrique Maccarini. **Fachadas pré-fabricadas em argamassa reforçada com fibra de vidro em três estudos de caso na grande Porto Alegre**. 2006. 205 f. Dissertação (Pós-graduação) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/88964/229776.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 10 set. 2019.

VEFAGO, Luiz H. M.; BARTH, Fernando. **Fachadas com painéis pré-fabricados em grc no sul do brasil**. 2006. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/40877629-Fachadas-com-paineis-pre-fabricados-em-grc-no-sul-do-brasil.html>>. Acesso em: 12 set. 2019.

VICENZI, Taís Delvina. **Glassfibre reinforced concrete (GRC) análise das dificuldades de inserção no mercado nacional de painéis fabricados em concreto reforçado com fibra de vidro**. 2015. 95 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/138341/000989622.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 05 set. 2019.



UNIVATES

R. Avelino Talini, 171 | Bairro Universitário | Lajeado | RS | Brasil
CEP 95914.014 | Cx. Postal 155 | Fone: (51) 3714.7000
www.univates.br | 0800 7 07 08 09